



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA APLICADA

TESIS DOCTORAL

**Planteamiento de un método alternativo,
complementario a la normativa existente, para
el cálculo de la potencia acústica de una fuente
sonora situada en un entorno real**

Joaquín Egea Valero

Director: Albert Marín Sanchis

Co-director: Antonio Sanchis Sabater

Valencia, 2009



A mi familia

Agradecimientos

Esta tesis se ha desarrollado en La Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN) y en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) con lo que agradezco a ambas instituciones su colaboración.

Agradecer de forma especial el apoyo, la ayuda, la supervisión y el asesoramiento que me han proporcionado mis tutores de la UPV, el Dr. Albert Marín Sanchis y el Dr. Antonio Sanchis Sabater. Muchas gracias por todo.

Agradecer profundamente a mi supervisora en el CERN, Ana-Paula Bernardes, la confianza que depositó en mí desde el primer momento y que finalmente desembocó en la realización de esta tesis. Gracias por tu apoyo y ayuda para que este proyecto se hiciese realidad.

Dar la gracias también a todas las personas del departamento de la Comisión de Seguridad del CERN, en especial a Ralf Trant, que me mostraron su apoyo durante todos los años que estuve en Suiza.

Destacar muy especialmente a toda la gente que he conocido en mi estancia en el CERN que siempre me han mostrado su afecto y su ánimo para la culminación de esta tesis.

Con especial cariño, quiero agradecer a mi familia el apoyo que siempre me han mostrado, así como los ánimos y confianza en los momentos difíciles.

A todas las personas que con su confianza y apoyo, creyeron en mí y han hecho posible la realización de este proyecto. ¡Mil gracias!

RESUMEN

La ciencia de la acústica y el control del ruido están adquiriendo progresivamente un mayor protagonismo en nuestros días. El hecho de valorar cada vez más la tranquilidad y en concreto nuestro bienestar acústico, está haciendo que se tienda a poner mayor interés y atención al control de las emisiones de todas las fuentes sonoras.

Dentro de esta necesidad por el control y conocimiento de los niveles acústicos existentes en un entorno, surge la realización de modelos acústicos. Para la implementación de dichos modelos se hace necesario el conocimiento de las características sonoras de las distintas fuentes existentes en el escenario de estudio, y para ello, se deben conocer sus niveles de potencia acústica.

De esta forma, los antecedentes de esta tesis, son los trabajos de modelización acústica de diferentes instalaciones del LHC (Large Hadron Collider) realizados por el doctorando en La Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN) y los problemas hallados en la aplicación de la normativa existente para determinados casos reales.

Habiendo hecho un estudio exhaustivo del ámbito de aplicación que se recoge en las distintas normativas que abordan la determinación de niveles de potencia acústica a partir de medidas “in situ”, se ha comprobado que existen diferentes escenarios acústicos, bastante habituales en el entorno industrial, que no cumplen los requisitos que identifican a un entorno de ensayo como el adecuado para la aplicación de las directrices que se proponen para la obtención de los niveles de potencia acústica.

Con la realización de esta tesis, se pretende complementar la normativa existente y plantear un método alternativo basado en medidas “in situ” realizadas con una sonda de intensidad para la obtención de los niveles acústicos de una fuente sonora que se encuentra en unas condiciones de medida “especiales”, donde las normativas de determinación de los niveles de potencia acústica: ISO 3744, ISO 9614-1, ISO 9614-2 e ISO 9614-3, no obtendrían unos resultados adecuados.

Así, el método planteado proporciona una alternativa en aquellos casos en los que se quiere determinar los niveles de potencia acústica de una fuente sonora, que no es conveniente parar ni mover, que tiene la influencia de otras fuentes sonoras externas y que además, muestra una absorción acústica significativa al disponer en el interior de su superficie de medida, de materiales absorbentes que van a influir en el cálculo de la potencia de la fuente.

Con la aplicación de este método, además del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo, se averigua también el coeficiente de absorción de los materiales absorbentes que se encuentran en el interior de la superficie de medida, así como la influencia de fuentes sonoras externas a dicha superficie.

RESUMEN

La ciència de l'acústica i el control del soroll estan adquirint un major protagonisme en els nostres dies. El fet de valorar cada vegada més la tranquil·litat i el nostre benestar acústic està fent que es pose major interès i atenció en el control de les emissions de qualsevol font sonora.

Dins de la necessitat del control i coneixement dels nivells acústics existents en un determinat entorn, sorgeix la realització dels models acústics. Per a la implementació dels esmentats models es fa necessari el coneixement de les característiques sonores de les diverses fonts existents a l'escenari d'estudi, i com a conseqüència, es deuen conèixer els seus nivells de potència acústica.

D'aquesta forma, els antecedents de la present tesi, són els treballs de modelització acústica de diferents instal·lacions del LHC (Large Hadron Collider) realitzats per el doctorant en l'Organització Europea per a la Investigació Nuclear (CERN) i els problemes trobats en l'aplicació de la normativa existent per a determinats casos reals.

Havent fet un estudi exhaustiu de l'àmbit d'aplicació que es recull en les diferents normatives que aborden la determinació de nivells de potència acústica a partir de mesures "in situ", s'ha comprovat que existeixen diferents escenaris acústics, prou habituals a l'entorn industrial, que no compleixen els requisits que identifiquen a un entorn d'assaig com l'adequat per a l'aplicació de les directrius que es proposen per a l'obtenció dels nivells de potència acústica.

Amb la realització d'aquesta tesi, es pretén complementar la normativa existent i plantejar un mètode alternatiu basat en mesures "in situ" realitzades amb una sonda d'intensitat per a l'obtenció dels nivells acústics d'una font sonora que es troba en unes condicions de mesura "especials", on les normatives de determinació dels nivells de potència acústica: ISO 3744, ISO 9614-1, ISO 9614-2 i ISO 9614-3, no obtindrien uns resultats adequats.

Així, el mètode plantejat proporciona una alternativa en aquells casos en els quals es vol determinar els nivells de potència acústica d'una font sonora, que no és convenient parar ni moure, que té la influència d'altres fonts sonores externes i que a més, mostra una absorció acústica significativa al disposar en l'interior de la seua superfície de mesura de materials absorbents que van a influir en el càlcul de la potència de la pròpia font.

Amb l'aplicació d'aquest mètode, a més del nivell de potència acústica de la font sota assaig, s'esbrina també el coeficient d'absorció dels materials absorbents que es troben en l'interior de la superfície de mesura, així com la influència de fonts sonores externes a aquesta superfície.

SUMMARY

Acoustics and noise control are becoming more and more important. Because of the increasing demand for quietness and acoustic comfort, more attention is being paid to the control of emission of all noise sources.

Acoustic models are used to study and control sound levels in a given environment. Acoustic characterization of the noise sources involved is needed to implement these models and the sound power level of these sources is the main parameter.

Prior to this thesis, acoustic models of different facilities of the Large Hadron Collider (LHC) were developed by the author at the European Organization for Nuclear Research (CERN). Problems were found in the application of existing standards in real cases. Thereby, the motivation of this thesis was to find a solution to these cases.

First, an exhaustive study of the application scope of the different standards that use “in situ” measurements to determine the sound power levels was made. From this study, scenarios frequently found in industrial settings that don’t comply with the necessary requirements given for the standards to obtain the sound power level of a noise source were identified.

The aim of this thesis is to complement the existing standards and to propose an alternative method using “in situ” measurements with a sound intensity probe to determine the sound power level of a noise source with “special” measurement conditions. Under these conditions, the standards ISO 3744, ISO 9614-1, ISO 9614-2 and ISO 9614-3 to determine the sound power levels are not adequate.

The proposed method offers an alternative in those cases where the sound power level of a noise source needs to be determined but it cannot be stopped or moved, it has the influence of other external noise sources and it has significant acoustic absorption because of the presence of absorbent materials inside of the measurement surface.

By using this method, we don’t only determine the sound power level of the noise source under test, but also the absorption coefficient of the absorbent materials inside of the measurement surface and the influence of noise sources external to this surface.

Índice general

| | |
|---|---------------|
| 1. Introducción. | 1 |
| 1.1. Consideraciones generales. | 1 |
| 1.2. La acústica. | 2 |
| 1.3. Introducción histórica sobre la acústica y la intensimetría. | 4 |
| 1.3.1. Introducción histórica sobre la acústica | 4 |
| 1.3.2. Breve introducción a la intensidad acústica | 9 |
| 1.4. Estado actual del tema. | 14 |
| 1.5. Objetivos de la tesis. | 16 |
| 1.6. Programación de los diferentes capítulos. | 18 |
| 2. Fundamentos teóricos de la intensidad acústica. Teoría de errores asociados. | 21 |
| 2.1. Introducción. | 21 |
| 2.2. Conceptos fundamentales de la intensidad acústica. | 23 |
| 2.2.1. Energía Sonora | 23 |
| 2.2.2. Propagación de la Energía Sonora: Intensidad acústica | 23 |
| 2.2.3. Intensidad acústica en campos de onda plana | 24 |
| 2.2.4. Principios en las medidas de intensidad acústica | 29 |
| 2.3. Medidas de intensidad acústica. | 31 |
| 2.4. Errores en las medidas de intensidad acústica. | 32 |
| 2.4.1. Errores sistemáticos inherentes a las técnicas de medida de intensidad acústica. | 32 |
| 2.4.2. Errores debidos al rendimiento de la sonda. | 33 |
| 2.4.3. Errores sistemáticos producidos por el desfase de canales entre los transductores y la señal asociada condicionada. | 36 |
| 2.4.4. Errores aleatorios asociados con la estimación espectral. | 39 |

| | |
|---|------------|
| 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente. | 41 |
| 3.1. Introducción. | 41 |
| 3.2. Teoría de la potencia acústica. | 44 |
| 3.2.1. Principios de la determinación de la potencia acústica de una fuente . . . | 45 |
| 3.3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido utilizando presión acústica. Normativa. | 47 |
| 3.3.1. Norma ISO 3744 | 47 |
| 3.4. Determinación de los niveles de potencia acústica emitidos por las fuentes de ruido utilizando intensidad acústica. Normativa. | 55 |
| 3.4.1. Norma ISO 9614-1 | 55 |
| 3.4.2. Norma ISO 9614-2 | 62 |
| 3.4.3. Norma ISO 9614-3 | 66 |
| 4. Antecedentes y equipo utilizado en los ensayos experimentales | 67 |
| 4.1. Introducción. | 67 |
| 4.2. Equipos y software utilizado. | 71 |
| 4.3. Proceso de calibración. | 74 |
| 5. Elección de la fuente de ruido y procedimiento de medida | 81 |
| 5.1. Fuentes sonoras caracterizadas en el CERN. | 81 |
| 5.1.1. Ejemplo de aplicación de la normativa ISO 3744. | 82 |
| 5.1.2. Niveles de potencia acústica de las fuentes más significativas de los Puntos del LHC | 86 |
| 5.2. Descripción de la fuente seleccionada y de su entorno de medida. | 93 |
| 5.3. Medidas de presión acústica sobre la fuente bajo ensayo. | 98 |
| 6. Estudio de la directividad de la fuente bajo ensayo. | 103 |
| 6.1. Introducción. | 103 |
| 6.2. Ensayos para el cálculo de la directividad. | 106 |
| 6.3. Directrices a seguir. | 107 |
| 6.4. Medidas experimentales y directividad de la fuente. | 111 |
| 6.5. Conclusiones de los resultados obtenidos. | 117 |

| | |
|--|------------|
| 7. Medidas con la sonda intensidad para la obtención de la potencia acústica de la fuente bajo ensayo. | 119 |
| 7.1. Introducción. | 119 |
| 7.2. Aplicación de la normativa ISO 9614-1 [39]. | 121 |
| 7.3. Planteamiento de un método alternativo a la normativa para el cálculo de la potencia acústica de la fuente. | 133 |
| 8. Método complementario a la normativa. | 135 |
| 8.1. Introducción. | 135 |
| 8.2. Balances de potencias | 136 |
| 8.2.1. Balance de la potencia procedente del ruido ambiental | 136 |
| 8.2.2. Balance de la potencia procedente de una fuente externa conocida | 137 |
| 8.3. Planteamiento teórico del problema. | 139 |
| 8.4. Introducción de una segunda fuente de potencia conocida. | 143 |
| 8.5. Estudio por el método de la imágenes de la influencia de la segunda fuente en las medidas. | 153 |
| 8.6. Obtención de la absorción de los paneles aislantes. | 169 |
| 8.7. Obtención del factor Δ_{cos} que aproxime los espectros de potencia obtenidos por intensidad y por presión acústica. | 171 |
| 8.7.1. Planteamiento del estudio. | 171 |
| 8.7.2. Aplicación del método de las imágenes al aspirador industrial. | 185 |
| 8.7.3. Alternativas propuestas para la estimación del factor Δ_{cos} | 189 |
| 8.7.4. Obtención del factor Δ_{cos} de la fuente bajo ensayo. | 193 |
| 8.8. Obtención de los niveles de potencia acústica de la fuente bajo ensayo | 198 |
| 8.9. Aplicación del método alternativo con medidas de intensidad por barridos (ISO 9614-2 [40]). | 202 |
| 8.9.1. Medidas de intensidad realizando 18 Barridos | 202 |
| 8.9.2. Medidas de intensidad realizando 10 Barridos | 218 |
| 8.10. Resultados finales | 233 |
| 9. Conclusiones. | 237 |
| 10. Futuros desarrollos. | 241 |

| | |
|---|-----|
| A. Espectros en frecuencias de los niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas de los Puntos del LHC. | 243 |
| B. Niveles de Presión Acústica y Factores de Directividad de la Fuente Bajo Estudio en el Ensayo de Directividad | 253 |
| C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes. | 259 |
| Bibliografía | 289 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| 2.1. Distribuciones espaciales instantáneas de la presión, la velocidad, la densidad de energía y la intensidad acústica de una onda progresiva plana [16] | 26 |
| 2.2. Distribuciones espaciales instantáneas de la presión, la velocidad, la densidad de energía y la intensidad acústica de una onda pura estacionaria en intervalos de 1/8 de periodo [16] | 26 |
| 2.3. Acoplador de intensidad | 35 |
| 3.1. Procedimiento para las posiciones específicas de los micrófonos en la superficie de medida | 49 |
| 3.2. Tabla de acciones a tomar de la norma ISO 9614-1. [39] | 61 |
| 3.3. Esquema del procedimiento a seguir de la norma ISO 9614-1. [39] | 61 |
| 3.4. Tabla de acciones a tomar de la norma ISO 9614-2. [40] | 65 |
| 3.5. Esquema del procedimiento a seguir de la norma ISO 9614-2. [40] | 66 |
| 4.1. Puntos superficiales del LHC [7] | 67 |
| 4.2. Vista aérea del CERN e indicación del recorrido del túnel del LHC [7] | 68 |
| 4.3. Vista global del LHC y sus detectores [7] | 69 |
| 4.4. Sonómetro B&K2260 y calibrador B&K4231 [3] | 71 |
| 4.5. Sonómetro B&K2260 con la sonda de intensidad y calibrador B&K3541 [3] | 72 |
| 4.6. Fuente sonora omnidireccional de potencia B&K4296 [3] | 73 |
| 4.7. Calibración del sonómetro [3] | 74 |
| 4.8. Sección del acoplador de intensidad [3] | 75 |
| 4.9. Calibración de la presión acústica [3] | 76 |
| 4.10. Calibración de la intensidad acústica y de la velocidad de la partícula [3] | 77 |
| 4.11. Medición del Índice de Presión-Intensidad Residual del sistema [3] | 77 |

| | |
|--|----|
| 4.12. Índices de capacidad dinámica, L_d , obtenidos de la calibración y valores de L_d mínimos dados por la norma IEC 61043 [29] para $K = 10$ y una separación de 50 mm entre micrófonos. Frecuencias de 125 a 10000 Hz | 79 |
| 5.1. Diferentes fuentes sonoras modelizadas de los Puntos del LHC | 82 |
| 5.2. Paralelepípedo de referencia y vista lateral de la fuente ejemplo | 83 |
| 5.3. Posiciones de los micrófonos en la superficie de medida. | 83 |
| 5.4. Superficie de medida y posiciones de los micrófonos para equipos colocados sobre el suelo y contra una pared | 84 |
| 5.5. Niveles de potencia acústica del motor eléctrico. Frecuencias de 125 a 10000 Hz | 86 |
| 5.6. Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas del Punto 1 & 1.8 del LHC. Frecuencias de 125 a 10000 Hz | 88 |
| 5.7. Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas del Punto 2 del LHC. Frecuencias de 125 a 10000 Hz | 88 |
| 5.8. Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas del Punto 3 del LHC. Frecuencias de 125 a 10000 Hz | 89 |
| 5.9. Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas del Punto 4 del LHC. Frecuencias de 125 a 10000 Hz | 89 |
| 5.10. Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas del Punto 5 del LHC. Frecuencias de 125 a 10000 Hz | 90 |
| 5.11. Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas del Punto 6 del LHC. Frecuencias de 125 a 10000 Hz | 90 |
| 5.12. Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas del Punto 7 del LHC. Frecuencias de 125 a 10000 Hz. Nota: En esta gráfica no se ha incluido la fuente sonora bajo estudio, pero es la tercera fuente en relevancia por su impacto acústico | 91 |
| 5.13. Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas del Punto 8 del LHC. Frecuencias de 125 a 10000 Hz | 91 |
| 5.14. Muestreador de aerosol atmosférico ($600 \text{ m}^3/\text{h}$) y sus dimensiones | 93 |
| 5.15. Ubicación de la fuente bajo ensayo en el Punto 7 del LHC | 94 |
| 5.16. Paneles absorbentes a los lados de la fuente bajo ensayo | 94 |
| 5.17. Fuente sonora considerada en el estudio | 95 |
| 5.18. Medidas de comprobación los niveles sonoros en zonas adyacentes a la fuente | 96 |
| 5.19. Vista del muestreador y dimensiones de su paralelepípedo de referencia | 98 |

| | |
|---|-----|
| 5.20. Distribución de los 9 puntos de presión acústica en la superficie de medida . . . | 99 |
| 5.21. Vistas en alzado y planta de la distribución de los 9 puntos de presión acústica en la superficie de medida | 99 |
| 5.22. Niveles de presión y potencia acústica obtenidos al medir en los 9 puntos de la superficie de medida | 100 |
| 6.1. Posiciones de micrófono sobre la semiesfera - Posiciones fundamentales de micrófono | 107 |
| 6.2. Posiciones de micrófono alrededor del paralelepípedo de referencia | 108 |
| 6.3. Posiciones de micrófono alrededor del paralelepípedo de referencia | 108 |
| 6.4. Vista en planta del cuarto de circunferencia de medida con los puntos para h_1 y h_2 | 109 |
| 6.5. Dimensiones de la fuente de ensayo y de la superficie de medida | 110 |
| 6.6. Puntos de medida para obtener la directividad de la fuente | 110 |
| 6.7. Niveles de presión acústica ponderados A para las posiciones 1-35 del micrófono | 111 |
| 6.8. Niveles de presión acústica ponderados A para las posiciones 36-70 del micrófono | 111 |
| 6.9. Diagramas polares de los niveles de presión acústica ponderados A para las 70 posiciones del micrófono (Fig. Izquierda \Rightarrow Ptos 1-35 & Fig. Derecha \Rightarrow Ptos 36-70) | 112 |
| 6.10. Diagramas polares de los factores de directividad para la banda de octava centrada en 63 Hz en las 70 posiciones del micrófono (Fig. Izquierda \Rightarrow Ptos 1-35 & Fig. Derecha \Rightarrow Ptos 36-70) | 113 |
| 6.11. Diagramas polares de los factores de directividad para la banda de octava centrada en 125 Hz en las 70 posiciones del micrófono (Fig. Izquierda \Rightarrow Ptos 1-35 & Fig. Derecha \Rightarrow Ptos 36-70) | 113 |
| 6.12. Diagramas polares de los factores de directividad para la banda de octava centrada en 250 Hz en las 70 posiciones del micrófono (Fig. Izquierda \Rightarrow Ptos 1-35 & Fig. Derecha \Rightarrow Ptos 36-70) | 114 |
| 6.13. Diagramas polares de los factores de directividad para la banda de octava centrada en 500 Hz en las 70 posiciones del micrófono (Fig. Izquierda \Rightarrow Ptos 1-35 & Fig. Derecha \Rightarrow Ptos 36-70) | 114 |
| 6.14. Diagramas polares de los factores de directividad para la banda de octava centrada en 1000 Hz en las 70 posiciones del micrófono (Fig. Izquierda \Rightarrow Ptos 1-35 & Fig. Derecha \Rightarrow Ptos 36-70) | 115 |

| | |
|---|-----|
| 6.15. Diagramas polares de los factores de directividad para la banda de octava centrada en 2000 Hz en las 70 posiciones del micrófono (Fig. Izquierda \Rightarrow Ptos 1-35 & Fig. Derecha \Rightarrow Ptos 36-70) | 115 |
| 6.16. Diagramas polares de los factores de directividad para la banda de octava centrada en 4000 Hz en las 70 posiciones del micrófono (Fig. Izquierda \Rightarrow Ptos 1-35 & Fig. Derecha \Rightarrow Ptos 36-70) | 116 |
| 6.17. Diagramas polares de los factores de directividad para la banda de octava centrada en 8000 Hz en las 70 posiciones del micrófono (Fig. Izquierda \Rightarrow Ptos 1-35 & Fig. Derecha \Rightarrow Ptos 36-70) | 116 |
| 7.1. Realización de medidas de presión (izquierda) y de intensidad acústica (derecha) | 120 |
| 7.2. Superficies de medida que resultarían al tomar diferentes paralelepípedos de referencia. | 121 |
| 7.3. Distribución de los 27 puntos de intensidad acústica en la superficie de medida . | 122 |
| 7.4. Vistas en alzado y planta de la distribución de los 27 puntos de intensidad acústica en la superficie de medida | 122 |
| 7.5. Niveles de potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad | 128 |
| 7.6. Niveles de potencia global en cada una de las 27 subáreas y nivel de potencia global de la fuente bajo ensayo | 128 |
| 7.7. Índice de capacidad dinámica, indicador de Presión-Intensidad en la superficie, e indicador de potencia parcial negativa, para las 27 medidas realizadas con la sonda de intensidad y el espaciador de 12 mm | 131 |
| 8.1. Ejemplo de balance de la potencia procedente del ruido ambiental | 136 |
| 8.2. Ejemplo de balance de la potencia procedente de una fuente externa conocida . . | 137 |
| 8.3. Incógnitas del planteamiento teórico del problema: W , W_{amb} y α | 139 |
| 8.4. Vista en alzado y planta de la fuente sonora omnidireccional y los 4 puntos de medida | 144 |
| 8.5. Niveles de potencia acústica de la segunda fuente obtenidos a partir de medidas de intensidad para las frecuencias de 125 a 10000 Hz | 146 |
| 8.6. Localización de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida . . . | 147 |

| | |
|--|-----|
| 8.7. Niveles de Potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida | 150 |
| 8.8. Niveles de Potencia acústica en los 27 puntos y valor global calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida . | 151 |
| 8.9. Situación de la fuente externa F y de sus imágenes F' , F'' y F''' . Vista en perfil | 154 |
| 8.10. Proyecciones de la fuente externa F y de sus imágenes F' , F'' y F''' . Vista en perfil | 154 |
| 8.11. Proyecciones de la fuente externa F y de sus imágenes F' , F'' y F''' . Vista en planta | 155 |
| 8.12. Proyecciones sin influencia de los paneles absorbentes (izquierda) y con influencia de los paneles absorbentes (derecha) utilizadas para el cálculo de W_{Id} y W_{Ir} | 156 |
| 8.13. Coeficientes de absorción α de los paneles absorbentes para las frecuencias 125-10000 Hz | 170 |
| 8.14. Vista del aspirador industrial | 171 |
| 8.15. Dimensiones del paralelepípedo de referencia | 172 |
| 8.16. Dimensiones de la superficie de medida y sus divisiones | 173 |
| 8.17. Distribución de los 20 puntos de medición en la superficie de medida | 173 |
| 8.18. Niveles de Potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad en los puntos de medida | 180 |
| 8.19. Niveles de Potencia acústica en los 20 puntos y valor global calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión | 181 |
| 8.20. Índice de capacidad dinámica, L_d , indicador de presión-intensidad en la superficie, F_2 , y diferencia entre F_3 y F_2 (indicador de potencia parcial negativa) para las 20 medidas | 183 |
| 8.21. Situación de la fuente puntual F y de su imagen F' . Vista en perfil | 186 |
| 8.22. Trayectorias de la fuente puntual F y de su imagen F' . Vista en perfil | 186 |
| 8.23. Posición y orientación del sistema de referencia seleccionado | 186 |
| 8.24. Niveles de potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz por presión calculados con la alternativa 1 y por intensidad | 190 |

| | |
|---|-----|
| 8.25. Niveles de potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz por presión calculados con la alternativa 2 y por intensidad | 192 |
| 8.26. Comparación de los niveles de la potencia acústica de la fuente bajo ensayo obtenidos por el método planteado con los 27 puntos de medida y por medio de las medidas de intensidad sin la fuente omnidireccional | 200 |
| 8.27. Distribución de los 18 barridos de intensidad acústica en la superficie de medida | 202 |
| 8.28. Trayectoria, dirección y densidad de líneas de los barridos horizontales y verticales para los segmentos frontales, laterales y superiores | 202 |
| 8.29. Niveles de potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad en los 18 barridos de medida | 208 |
| 8.30. Niveles de potencia acústica en los 18 barridos y valor global calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad . | 208 |
| 8.31. Índice de capacidad dinámica, L_d , indicador de presión-intensidad en la superficie, F_{pI} , e indicador de potencia parcial negativa $F_{+/-}$ para los 18 barridos | 209 |
| 8.32. Niveles de potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz calculados a partir de las medidas de intensidad realizadas con la sonda de intensidad en los 18 barridos de medida con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida | 213 |
| 8.33. Niveles de potencia acústica en los 18 barridos y valor global calculados a partir de las medidas de intensidad realizadas con la sonda de intensidad con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida | 213 |
| 8.34. Coeficientes de absorción α de los paneles absorbentes para las frecuencias 125-10000 Hz obtenidos por medio de los 18 barridos de intensidad | 215 |
| 8.35. Comparación niveles de potencia acústica de la fuente bajo ensayo obtenidos por el método planteado con los 18 barridos y por medio de las medidas de intensidad sin la fuente omnidireccional | 217 |
| 8.36. Distribución de los 10 barridos de intensidad acústica en la superficie de medida | 218 |
| 8.37. Trayectoria, dirección y densidad de líneas de los barridos horizontales y verticales para los segmentos frontales, laterales y superiores | 218 |
| 8.38. Niveles de potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad en los 10 barridos de medida | 224 |

| | |
|---|-----|
| 8.39. Niveles de potencia acústica en los 10 barridos y valor global calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad . | 224 |
| 8.40. Índice de capacidad dinámica, L_d , indicador de presión-intensidad en la superficie, F_{pI} , e indicador de potencia parcial negativa $F_{+/-}$ para los 10 barridos | 225 |
| 8.41. Niveles de potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz calculados a partir de las medidas de intensidad en los 10 barridos de medida con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida | 228 |
| 8.42. Niveles de potencia acústica en los 10 barridos y valor global calculados a partir de las medidas de intensidad realizadas con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida | 228 |
| 8.43. Coeficientes de absorción α de los paneles absorbentes para las frecuencias 125-10000 Hz obtenidos por medio de los 10 barridos de intensidad | 230 |
| 8.44. Comparación niveles de potencia acústica de la fuente bajo ensayo obtenidos por el método planteado con los 10 barridos y por medio de las medidas de intensidad sin la fuente omnidireccional | 232 |
| 8.45. Coeficientes de absorción de los paneles absorbentes para las frecuencias de 125 a 10000 Hz obtenidos a partir del método complementario a la normativa planteado. | 235 |
| 8.46. Niveles de potencia acústica del muestreador para las frecuencias de 125 a 10000 Hz obtenidos a partir del método complementario a la normativa planteado. . . . | 235 |

Índice de tablas

| | |
|--|-----|
| 3.1. Ponderación A , valores A_j | 52 |
| 4.1. Valores numéricos del Índice de capacidad dinámica, L_d , y de los L_d mínimos dados por la norma IEC 61043 [29] para $K = 10$ y una separación de 50 mm entre micrófonos. Frecuencias de 125 a 10000 Hz | 79 |
| 5.1. Niveles de presión acústica en las caras de la superficie de medida del motor eléctrico | 85 |
| 5.2. Niveles de potencia acústica del motor eléctrico para las frecuencias de 125 a 10000 Hz | 86 |
| 5.3. Niveles de intensidad acústica en los Puntos M_1 y M_2 | 96 |
| 5.4. Niveles de presión acústica en los 9 puntos de medida y nivel de potencia obtenido | 101 |
| 6.1. Factores e Índices de Directividad para distintos casos de situación de una fuente simple. [88] | 105 |
| 7.1. Niveles de intensidad acústica en los 27 puntos de medida | 124 |
| 7.2. Áreas de los elementos de superficie asociados a los 27 puntos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de intensidad y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz | 125 |
| 7.3. Niveles de presión acústica en los 27 puntos de medida | 126 |
| 7.4. Áreas de los elementos de superficie asociados a los 27 puntos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de presión y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz | 127 |

| | |
|---|-----|
| 7.5. Medidas de intensidad acústica en la posición 4 de micrófono sobre la superficie de medida para la obtención del Indicador F_1 | 130 |
| 7.6. Indicadores de variabilidad temporal del campo acústico para las frecuencias de 125 a 10000 Hz | 130 |
| 7.7. Valores numéricos del Índice de capacidad dinámica, L_d , del indicador de Presión-Intensidad en la superficie, F_2 , y del indicador de potencia parcial negativa, F_3 para las frecuencias de 125 a 10000 Hz, obtenidos con la sonda de intensidad y el espaciador de 12 mm | 132 |
| 8.1. Niveles de intensidad acústica en los 4 puntos de medida y nivel de potencia obtenido | 145 |
| 8.2. Niveles de intensidad acústica en los 27 puntos de medida con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida | 148 |
| 8.3. Áreas de los elementos de superficie asociados a los 27 puntos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de intensidad y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida | 149 |
| 8.4. Coordenadas, diferencias entre las coordenadas de los 27 puntos y la fuente F (Δx , Δy , Δz), distancia total y cosenos de θ para las diferentes coordenadas . . | 157 |
| 8.5. Coordenadas, diferencias entre las coordenadas de los 27 puntos y la fuente F' (Δx , Δy , Δz), distancia total y cosenos de θ para las diferentes coordenadas . . | 158 |
| 8.6. Coordenadas, diferencias entre las coordenadas de los 27 puntos y la fuente F'' (Δx , Δy , Δz), distancia total y cosenos de θ para las diferentes coordenadas. Nota*: En los casos de los puntos 10, 11, 12, 13, 14 y 15, la influencia que se considera en las proyecciones es la de la parte exterior del panel absorbente de la derecha de la fuente. Así, el $\cos \theta$ para estos puntos se obtiene considerando las coordenadas de F'' como: $(-0,46, -7,62, 1,45)m$ | 159 |
| 8.7. Coordenadas, diferencias entre las coordenadas de los 27 puntos y la fuente F''' (Δx , Δy , Δz), distancia total y cosenos de θ para las diferentes coordenadas. Nota*: En los casos de los puntos 10, 11, 12, 13, 14 y 15, la influencia que se considera en las proyecciones es la de la parte exterior del panel absorbente de la derecha de la fuente. Así, el $\cos \theta$ para estos puntos se obtiene considerando las coordenadas de F''' como: $(-0,46, -7,62, -1,45)m$ | 160 |

| | |
|--|-----|
| 8.8. Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo. Punto 1 | 163 |
| 8.9. Potencias acústicas teóricas obtenidas con el método de las imágenes debidas a las fuentes F y F' (I). Puntos 1-15 | 165 |
| 8.10. Potencias acústicas teóricas obtenidas con el método de las imágenes debidas a las fuentes F y F' (II). Puntos 16-27, W_{Id} y LW_{Id} | 166 |
| 8.11. Potencias acústicas teóricas obtenidas con el método de las imágenes debidas a las fuentes F'' y F''' (I). Puntos 1-15 | 167 |
| 8.12. Potencias acústicas teóricas obtenidas con el método de las imágenes debidas a las fuentes F'' y F''' (II). Puntos 16-27, W_{Ir} y LW_{Ir} | 168 |
| 8.13. Coeficientes de absorción de los paneles absorbentes y niveles de potencia utilizados en su cálculo para las frecuencias 125-10000 Hz | 169 |
| 8.14. Niveles de intensidad acústica en los 20 puntos de medida | 175 |
| 8.15. Áreas de los elementos de superficie asociados a los 20 puntos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de intensidad y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz | 176 |
| 8.16. Niveles de presión acústica en los 20 puntos de medida | 178 |
| 8.17. Áreas de los elementos de superficie asociados a los 20 puntos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de presión y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz | 179 |
| 8.18. Medidas de intensidad acústica en la posición 2 de micrófono sobre la superficie de medida del aspirador para la obtención del Indicador F_1 | 182 |
| 8.19. Indicadores de variabilidad temporal del campo acústico para las frecuencias de 125 a 10000 Hz | 183 |
| 8.20. Valores numéricos del Índice de capacidad dinámica, L_d , del indicador de Presión-Intensidad en la superficie, F_2 , y del indicador de potencia parcial negativa, F_3 para las frecuencias de 125 a 10000 Hz, para las 20 medidas realizadas con la sonda de intensidad y el espaciador de 12 mm | 184 |
| 8.21. Indicadores de no uniformidad de campo para las frecuencias de 125 a 10000 Hz, para las 20 medidas realizadas con la sonda de intensidad y el espaciador de 12 mm | 185 |

| | |
|--|-----|
| 8.22. Coordenadas, diferencias entre las coordenadas de los 27 puntos y la fuente F ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$), distancia total y cosenos de θ para las diferentes coordenadas . . | 187 |
| 8.23. Coordenadas, diferencias entre las coordenadas de los 27 puntos y la fuente F' ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$), distancia total y cosenos de θ para las diferentes coordenadas . . | 188 |
| 8.24. Coordenadas de los 20 puntos de medida, sus $\cos \theta$ y $\cos \theta$ Medio | 189 |
| 8.25. Niveles de potencia corregidos. Alternativa 1 | 190 |
| 8.26. Coordenadas de los 20 puntos de medida, sus $\cos \theta$ y media de todos los $\cos \theta$. . | 191 |
| 8.27. Niveles de potencia corregidos. Alternativa 2 | 192 |
| 8.28. Coordenadas, diferencias entre las coordenadas de los 27 puntos y la fuente F_1 ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$), distancia total y cosenos de θ para las diferentes coordenadas . . | 194 |
| 8.29. Coordenadas, diferencias entre las coordenadas de los 27 puntos y la fuente F_2 ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$), distancia total y cosenos de θ para las diferentes coordenadas . . | 195 |
| 8.30. Coordenadas de los 27 puntos de medida, sus $\cos \theta$ y el $\cos \theta$ medio | 196 |
| 8.31. Niveles de la potencia acústica de la fuente bajo ensayo | 198 |
| 8.32. Niveles de la potencia acústica de la fuente sonora bajo ensayo, niveles de las potencias utilizadas para su cálculo y el coeficiente de absorción de los paneles para las frecuencias 125-10000 Hz | 199 |
| 8.33. Niveles de intensidad acústica en los 18 barridos de medida | 204 |
| 8.34. Áreas de los elementos de superficie asociados a los 18 barridos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de intensidad y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz | 205 |
| 8.35. Niveles de presión acústica en los 18 barridos de medida | 206 |
| 8.36. Áreas de los elementos de superficie asociados a los 18 barridos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de presión y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz | 207 |
| 8.37. Valores numéricos del Índice de capacidad dinámica, L_d , del indicador de Presión-Intensidad en la superficie, F_{pI} , y del indicador de potencia parcial negativa, $F_{+/-}$ para las frecuencias de 125 a 10000 Hz, obtenidos con la sonda de intensidad y el espaciador de 12 mm, para el caso de los 18 barridos | 209 |
| 8.38. Niveles de intensidad acústica en los 18 barridos de medida con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida | 211 |

| | |
|---|-----|
| 8.39. Áreas de los elementos de superficie asociados a los 18 barridos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de intensidad y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida | 212 |
| 8.40. Coeficientes de absorción de los paneles absorbentes y los niveles de potencia utilizados en su cálculo para las frecuencias 125-10000 Hz. Medición por barrido - 18 barridos | 214 |
| 8.41. Niveles de potencia acústica de la fuente sonora bajo ensayo y los niveles de potencias utilizados en su cálculo para las frecuencias 125-10000 Hz. Medición por barrido - 18 barridos | 216 |
| 8.42. Niveles de intensidad acústica en los 10 barridos de medida | 220 |
| 8.43. Áreas de los elementos de superficie asociados a los 10 barridos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de intensidad y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz | 221 |
| 8.44. Niveles de presión acústica en los 10 barridos de medida | 222 |
| 8.45. Áreas de los elementos de superficie asociados a los 10 barridos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de presión y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz | 223 |
| 8.46. Valores numéricos del Índice de capacidad dinámica, L_d , del indicador de Presión-Intensidad en la superficie, F_{pI} , y del indicador de potencia parcial negativa, $F_{+/-}$ para las frecuencias de 125 a 10000 Hz, obtenidos con la sonda de intensidad y el espaciador de 12 mm, para el caso de los 10 barridos | 225 |
| 8.47. Niveles de intensidad acústica en los 10 barridos de medida con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida | 226 |
| 8.48. Áreas de los elementos de superficie asociados a los 10 barridos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de intensidad y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida | 227 |

| | |
|--|-----|
| 8.49. Niveles de potencia acústica de la fuente sonora bajo ensayo y los niveles de potencias utilizados en su cálculo para las frecuencias 125-10000 Hz. Medición por barrido - 10 barridos | 229 |
| 8.50. Niveles de potencia acústica de la fuente sonora bajo ensayo y los niveles de potencias utilizados en su cálculo para las frecuencias 125-10000 Hz. Medición por barrido - 10 barridos | 231 |
| 8.51. Coeficientes de absorción de los paneles absorbentes y niveles de potencia acústica del muestreador calculados con el método complementario a la normativa planteado para las frecuencias de 125 a 10000 Hz. | 234 |
| | |
| A.1. Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes más relevantes del Punto 1 - 1.8 del LHC | 245 |
| A.2. Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes más relevantes del Punto 2 del LHC | 246 |
| A.3. Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes más relevantes del Punto 3.2 - 3.3 del LHC | 247 |
| A.4. Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes más relevantes del Punto 4 del LHC | 248 |
| A.5. Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes más relevantes del Punto 5 del LHC | 249 |
| A.6. Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes más relevantes del Punto 6 del LHC | 250 |
| A.7. Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes más relevantes del Punto 7 del LHC | 251 |
| A.8. Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes más relevantes del Punto 8 del LHC | 252 |
| | |
| B.1. Niveles de presión acústica ponderados A para las posiciones 1-70 del micrófono | 255 |
| B.2. Factores de directividad para las frecuencias 50-63-80 Hz en las posiciones 1-70 del micrófono | 255 |
| B.3. Factores de directividad para las frecuencias 100-125-160 Hz en las posiciones 1-70 del micrófono | 255 |
| B.4. Factores de directividad para las frecuencias 200-250-315 Hz en las posiciones 1-70 del micrófono | 256 |
| B.5. Factores de directividad para las frecuencias 400-500-630 Hz en las posiciones 1-70 del micrófono | 256 |
| B.6. Factores de directividad para las frecuencias 800-1000-1250 Hz en las posiciones 1-70 del micrófono | 256 |
| B.7. Factores de directividad para las frecuencias 1600-2000-2500 Hz en las posiciones 1-70 del micrófono | 257 |

| | |
|--|-----|
| B.8. Factores de directividad para las frecuencias 3150-4000-5000 Hz en las posiciones 1-70 del micrófono | 257 |
| B.9. Factores de directividad para las frecuencias 6300-8000-10000 Hz en las posiciones 1-70 del micrófono | 257 |
| C.1. Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 1 | 261 |
| C.2. Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 2 | 262 |
| C.3. Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 3 | 263 |
| C.4. Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 4 | 264 |
| C.5. Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 5 | 265 |
| C.6. Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 6 | 266 |
| C.7. Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 7 | 267 |
| C.8. Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 8 | 268 |
| C.9. Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 9 | 269 |
| C.10. Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 10. Nota*: Para el cálculo de W_{I10} , la influencia que se considera en las proyecciones es la de la parte exterior del panel absorbente de la derecha de la fuente, así las coordenadas de F'' , y F''' para este caso son: $(-0.46, -7.62, 1.45)m$, y $(-0.46, -7.62, -1.45)m$ respectivamente | 270 |

| | |
|---|-----|
| C.11. Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 11. Nota*: Para el cálculo de W_{Ir11} , la influencia que se considera en las proyecciones es la de la parte exterior del panel absorbente de la derecha de la fuente, así las coordenadas de F'' , y F''' para este caso son: $(-0.46, -7.62, 1.45)m$, y $(-0.46, -7.62, -1.45)m$ respectivamente | 271 |
| C.12. Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 12. Nota*: Para el cálculo de W_{Ir12} , la influencia que se considera en las proyecciones es la de la parte exterior del panel absorbente de la derecha de la fuente, así las coordenadas de F'' , y F''' para este caso son: $(-0.46, -7.62, 1.45)m$, y $(-0.46, -7.62, -1.45)m$ respectivamente | 272 |
| C.13. Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 13. Nota*: Para el cálculo de W_{Ir13} , la influencia que se considera en las proyecciones es la de la parte exterior del panel absorbente de la derecha de la fuente, así las coordenadas de F'' , y F''' para este caso son: $(-0.46, -7.62, 1.45)m$, y $(-0.46, -7.62, -1.45)m$ respectivamente | 273 |
| C.14. Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 14. Nota*: Para el cálculo de W_{Ir14} , la influencia que se considera en las proyecciones es la de la parte exterior del panel absorbente de la derecha de la fuente, así las coordenadas de F'' , y F''' para este caso son: $(-0.46, -7.62, 1.45)m$, y $(-0.46, -7.62, -1.45)m$ respectivamente | 274 |
| C.15. Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 15. Nota*: Para el cálculo de W_{Ir15} , la influencia que se considera en las proyecciones es la de la parte exterior del panel absorbente de la derecha de la fuente, así las coordenadas de F'' , y F''' para este caso son: $(-0.46, -7.62, 1.45)m$, y $(-0.46, -7.62, -1.45)m$ respectivamente | 275 |
| C.16. Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 16 | 276 |
| C.17. Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 17 | 277 |

| | | |
|-------|--|-----|
| C.18. | <i>Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 18</i> | 278 |
| C.19. | <i>Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 19</i> | 279 |
| C.20. | <i>Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 20</i> | 280 |
| C.21. | <i>Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 21</i> | 281 |
| C.22. | <i>Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 22</i> | 282 |
| C.23. | <i>Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 23</i> | 283 |
| C.24. | <i>Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 24</i> | 284 |
| C.25. | <i>Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 25</i> | 285 |
| C.26. | <i>Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 26</i> | 286 |
| C.27. | <i>Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 27</i> | 287 |

Notación

| | |
|-------------|--|
| A | Área equivalente de absorción |
| A_0 | Amplitud de la onda sonora |
| \vec{A} | Vector normal de la superficie envolvente |
| A_j | Valor de la ponderación A en banda de frecuencia central j |
| c | Velocidad del sonido en el aire |
| C | Factor de precisión |
| d_s | Distancia de separación |
| d | Distancia de medida |
| d_o | Dimensión característica de la fuente |
| D | Error absoluto de la intensidad |
| DI | Índice de directividad |
| e | Densidad de energía sonora |
| $e_\phi(I)$ | Error sistemático normalizado en intensidad |
| F | Fuente en el método de la imágenes |
| F' | Primera fuente imagen en el método de la imágenes |
| F'' | Segunda fuente imagen en el método de la imágenes |
| F''' | Tercera fuente imagen en el método de la imágenes |
| \vec{F} | Vector fuerza |
| F_1 | Indicador de variabilidad temporal del campo acústico |
| F_2 | Indicador de presión-intensidad en la superficie |

F_3 Indicador de potencia parcial negativa

F_4 Indicador de no uniformidad de campo

F_{pI} Indicador de presión-intensidad en la superficie

$F_{+/-}$ Indicador de potencia parcial negativa

f Frecuencia (Hz)

f_s Factor que relaciona las superficies absorbentes con la superficie total de la superficie de medida conocida

\vec{I} Intensidad acústica compleja

I Intensidad acústica

\bar{I} Valor promedio de la intensidad acústica

I_a Intensidad activa

I_e Intensidad estimada

I_{ni} Intensidad normal en la posición i

$\overline{I_n}$ Valor promedio de la intensidad normal

I_r Intensidad reactiva

I_{res} Intensidad residual

I_0 Intensidad de referencia

j Unidad imaginaria

J Intensidad reactiva

k Número de ondas

K Factor de error de desviación

| | |
|-----------------------|--|
| K_1 | Corrección por ruido de fondo |
| K_2 | Corrección por entorno acústico de ensayo |
| L_d | Capacidad dinámica del equipo |
| L_x | Nivel asociado a la magnitud x |
| L_p | Nivel de presión acústica |
| $\overline{L'_p}$ | Nivel de presión acústica promediado sobre la superficie de medida con la fuente bajo ensayo en funcionamiento |
| $\overline{L''_p}$ | Nivel de presión acústica del ruido de fondo promediado sobre la superficie de medida |
| $\overline{L'_{pi}}$ | Nivel de presión acústica medido en la posición i-ésima del micrófono |
| $\overline{L''_{pi}}$ | Nivel de presión acústica del ruido de fondo medido en la posición i-ésima del micrófono |
| L_{pA} | Nivel de presión acústica ponderado A |
| L_{pj} | Nivel de presión acústica en banda j |
| $\overline{L_{ps}}$ | Nivel de presión acústica superficial |
| L_I | Nivel de intensidad acústica |
| $\overline{L_W}$ | Nivel de potencia acústica |
| $L_{W_{amb}}$ | Nivel de potencia acústica procedente del ruido ambiente |
| $L_{W_{Id}}$ | Nivel de potencia acústica total que atraviesa cualquier superficie del volumen de medida proviniendo de la fuente directa y la reflejada en el suelo |
| $L_{W_{Ir}}$ | Nivel de potencia acústica total que atraviesa cualquier superficie del volumen de medida proviniendo de la fuente y reflejada en la superficie absorbente y la doble (superficie absorbente + el suelo) |
| $L_{WI_{(SF)}}$ | Nivel de potencia acústica medida con intensidad acústica sin la presencia de la fuente externa a la superficie de medida de potencia conocida |

$L_{Wp(SF)}$ Nivel de potencia acústica medida con presión acústica sin la presencia de la fuente externa a la superficie de medida de potencia conocida

$L_{WI(CF)}$ Nivel de potencia acústica medida con intensidad acústica con la presencia de la fuente externa a la superficie de medida de potencia conocida

L_ϕ Índice de error de fase

N Número de posiciones de micrófono

\vec{n} Vector normal de la superficie S

\bar{n}^2 Valor cuadrático medio del ruido eléctrico

p Módulo de la presión acústica

\vec{p} Presión acústica compleja

p_r Parte real de la presión acústica

$\tilde{p}(t)$ Transformada de Hilbert de $p(t)$

p_1 Presión acústica instantánea en el canal 1 de la sonda

p_2 Presión acústica instantánea en el canal 2 de la sonda

W Potencia acústica

W_{amb} Potencia acústica procedente del ruido ambiente

W_i Potencia acústica parcial

W_{Id} Potencia acústica total que atraviesa cualquier superficie del volumen de medida proviniendo de la fuente directa y la reflejada en el suelo

W_{Ir} Potencia acústica total que atraviesa cualquier superficie del volumen de medida proviniendo de la fuente y reflejada en la superficie absorbente y la doble (superficie absorbente + el suelo)

$WI_{(SF)}$ Potencia acústica medida con intensidad acústica sin la presencia de la fuente externa a la superficie de medida de potencia conocida

$W_{p(SF)}$ Potencia acústica medida con presión acústica sin la presencia de la fuente externa a la superficie de medida de potencia conocida

$W_{I(CF)}$ Potencia acústica medida con intensidad acústica con la presencia de la fuente externa a la superficie de medida de potencia conocida

W_0 Potencia de referencia

W_s Potencia acústica neta en la superficie envolvente s

Q Factor de directividad

r Vector posición; coordenada radial esférica

s Superficie envolvente; elemento de superficie

S Superficie de medida

S_i Superficie i -ésima de la superficie de medida

S_V Área total de las superficies límite

S_0 Superficie de referencia

t Tiempo

T Periodo

u Velocidad de la partícula

\vec{u} Velocidad compleja

x Coordenada cartesiana

y Coordenada cartesiana

z Coordenada cartesiana

δ_{pI} Índice de presión-intensidad local o índice de reactividad

δ_{pI_0} Índice de presión-intensidad residual

| | |
|-----------------|--|
| $\delta\vec{s}$ | Vector elemental de superficie |
| ε_x | Error relativo asociado al parámetro x |
| ε_0 | Error relativo asociado a ϕ_s en campo libre |
| ΣW_{aI} | Balance de potencia ambiental, medido con intensidad acústica |
| ΣW_{aP} | Balance de potencia ambiental, medido con presión acústica |
| ΣW_c | Balance de potencia con la presencia de una fuente externa, medido con intensidad acústica |
| α | Coefficiente de absorción acústica |
| ϕ | Desfase máximo en onda plana progresiva |
| ϕ_f | Diferencia de fase de campo |
| ϕ_p | Fase de la presión sonora |
| ϕ_s | Desfase introducido por la cadena de medida |
| λ | Longitud de la onda sonora |
| ρ_0 | Densidad del aire |
| ω | Frecuencia |
| Δ_{pI} | Índice de presión-intensidad global o de superficie |
| Δ_{cos} | Factor diferencia entre el resultado de medir la potencia mediante presión y mediante intensidad |
| Δ_x | Diferencia entre la coordenada x del punto de medida y la de la fuente sonora |
| Δ_y | Diferencia entre la coordenada y del punto de medida y la de la fuente sonora |
| Δ_z | Diferencia entre la coordenada z del punto de medida y la de la fuente sonora |
| $\vec{\nabla}$ | Gradiente |

Capítulo 1

Introducción.

1.1. Consideraciones generales.

La ciencia de la acústica y el control del ruido están adquiriendo progresivamente un mayor protagonismo en nuestros días. El hecho de valorar cada vez más la tranquilidad y en concreto nuestro bienestar acústico, está haciendo que se tienda a poner mayor interés y atención al control de las emisiones de todas las fuentes sonoras.

Dentro de esta necesidad por el control y conocimiento de los niveles acústicos existentes en un entorno, surge la realización de modelos acústicos. Para la implementación de dichos modelos se hace necesario el conocimiento de las características sonoras de las distintas fuentes existentes en el escenario de estudio. En la caracterización de las fuentes se debe disponer, principalmente, de su nivel de potencia acústica y su directividad.

Durante muchos años, se ha intentado desarrollar métodos de medida que proporcionasen mayor precisión y fiabilidad para la obtención de esta información. Al respecto, cada vez se avanza más y más en la obtención de dichos parámetros en unas condiciones ideales y controladas de medida (cámaras anecoicas, entornos controlados...). Desafortunadamente, no siempre se pueden realizar este tipo de medidas en entornos “ideales” y la realidad es que en la mayoría de casos, la utilidad de estas medidas viene dada en entornos “in situ” no controlados.

Así, la concepción de esta tesis surge con la esperanza de ayudar, en su medida, a completar este vacío experimental que existe en este importante y trascendente campo de aplicación de la acústica.

1.2. La acústica.

La acústica es la ciencia del sonido, incluyendo su producción, transmisión, recepción y efectos. En su uso actual, el término sonido no implica solamente los fenómenos en el aire responsables de la sensación de audición sino también de cualquier otro fenómeno gobernado por principios físicos análogos. Así, las variaciones de presión a frecuencias demasiado bajas (infrasonidos) o demasiado altas (ultrasonidos) para ser oídas por una persona, también son tratadas como sonido, además se puede hablar de sonido subacuático o de sonido en sólidos.

El amplio alcance de la acústica como campo de interés e investigación se puede atribuir a varias razones. La Primera, señalar la naturaleza omnipresente de la radiación mecánica, generada por causas naturales y por la actividad humana. Por otro lado, destacar la existencia de la sensación de audición, de la capacidad vocal humana, de la comunicación vía sonido, junto con la variedad de influencias psicológicas que el sonido tiene en aquellos que lo escuchan. Áreas tales como el discurso, la música, la grabación y reproducción de sonidos, la telefonía, el refuerzo sonoro, la audiología, la acústica arquitectónica y el control del ruido tienen una fuerte asociación con la sensación de audición.

Que el sonido sea un medio de transmitir la información, independientemente de nuestra capacidad natural de oír, es también un factor significativo, especialmente en acústica subacuática. Diferentes investigaciones básicas y tecnológicas explotan el hecho de que la transmisión del sonido está afectada por el medio a través del cual pasa, interviniendo cuerpos y heterogeneidades. Los efectos físicos del sonido en sustancias y cuerpos con los cuales interactúa, presentan otras áreas de estudio y de aplicación técnica.

El dominio de la acústica sigue creciendo y convirtiéndose en un campo de investigación de interés general. La legislación acústica y su subsecuente acción ha sido requerida internacionalmente para proporcionar viviendas apacibles, entornos de trabajos seguros y confortables, calles y aeropuertos más tranquilos y protección en general de excesivas exposiciones a dispositivos y equipos ruidosos.

Hoy en día, los arquitectos están incrementando las colaboraciones con ingenieros acústicos para asegurar entornos armónicos con los aspectos estéticos de sus diseños. La instrumentación acústica está siendo usada en la industria para facilitar los procesos de fabricación y asegurar el

control de calidad. Destacar también que la intensificación de las aplicaciones de ultrasonidos está proporcionando nuevos diagnósticos y herramientas terapéuticas en el campo de la medicina, una caracterización más fidedigna en los estudios de materiales, unas mejores metodologías de vigilancia y mejoradas técnicas en los procesos de fabricación. La acústica tiene también una influencia muy destacada en la sociedad de consumo actual, con productos de reproducción de alta fidelidad, procesadores *Dolby*, procesadores digitales, lectores de discos compactos y *DVD*, sistemas de altavoces con sonido *Surround*, etc.

¿Y cual es el futuro que espera a la acústica?. Pues la verdad es que dicho futuro es muy prometedor. La miniaturización continua de los circuitos electrónicos está provocando la digitalización de los aparatos para sordos permitiendo así solucionar los problemas con el ruido de fondo. Nuevos diagnósticos y procesos terapéuticos basados en señales acústicas están siendo desarrollados y probados en los centros de investigación más importantes del mundo. El desarrollo de transductores más sensitivos y versátiles, que pueden soportar entornos más duros, están originando nuevos aparatos acústicos tales como viscosímetros sónicos, sondas submarinas, y aparatos móviles de reconocimiento de voz. Las investigaciones con cetáceos están ayudando a tener un mayor entendimiento de sus sonares naturales para inspeccionar el medio submarino y para comunicarse, quizás sea este el principio del camino para la construcción de sofisticados analizadores acústicos de múltiples canales. La generación de ondas acústicas en el rango de los gigahercios pueden competir o superar el microscopio óptico para resoluciones con mayor poder penetrante. Se podría continuar con la enumeración de futuras investigaciones y avances en el campo de la acústica, pero no se acabaría nunca.

Con todo esto, se puede afirmar que el amplio repertorio de todos los avances futuros que se avecinan en esta rama de la ciencia, constituirán una impresionante fuente de beneficencia para la humanidad.

1.3. Introducción histórica sobre la acústica y la intensimetría.

1.3.1. Introducción histórica sobre la acústica

De los cinco sentidos que se poseen, el oído es probablemente el segundo, después de la visión, en uso regular. Es por tanto comprensible que el interés de los humanos por la acústica se remonte a tiempos de la prehistoria.

Los antiguos griegos comenzaron a entender las principales leyes de propagación y reflexión del sonido y su repercusión quedó reflejada en un gran número de cuentos clásicos. Sin embargo, el honor de ser los primeros acústicos probablemente recae sobre el filósofo griego Chrysippus (año 240 antes de nuestra era), el ingeniero y arquitecto romano Vitruvius (año 25 antes de nuestra era) y el filósofo romano Severinus Boethius (año 480-524) al interesarse en la propagación de la ondas y en la acústica de recintos.

Posteriormente, Pitágoras (año 570-497 antes de nuestra era) observó que *“el movimiento del aire generado por un cuerpo vibrando sonando a una simple nota musical es también vibrante y de la misma frecuencia que el cuerpo”*, fue él quien adecuadamente aplicó las matemáticas a las consonancias musicales descritas como la octava, la quinta y la cuarta, y estableció proporcionalmente la inversa de la longitud de una cuerda vibrando con su tono.

Más tarde, la abstención por parte de Aristóteles de realizar experimentos (los cuales estimó indignos para un científico) para establecer la validez de hipótesis esenciales causó el estancamiento de todas las ciencias naturales, incluida la acústica, hasta el final de la Edad Media.

Ya en el siglo quince, Leonardo da Vinci (año 1452-1519) realizó diferentes observaciones que le permitieron correlacionar las ondas generadas por una roca al ser lanzada al agua con la propagación de ondas sonoras como fenómenos similares. Por otro lado, estableció también que el movimiento de onda de un sonido tiene un determinado valor de velocidad asociado y realizó las primeras deducciones sobre el fenómeno de la resonancia simpática que un siglo más tarde descubriría Galileo Galilei.

Marin Mersenne (año 1588-1648), filósofo Francés y fraile Franciscano, puede ser considerado como el padre de la acústica moderna. En “*Harmonie universelle*”, publicado en 1636, presentó la primera descripción científicamente palpable de un tono audible (84 Hz) y demostró que la proporción absoluta de frecuencia de dos cuerdas vibrando, radiando una nota musical y su octava, es de 1:2. Además, Mersenne trazó una analogía con las ondas del agua, observó que el sonido viaja con una velocidad finita y se dio cuenta que se distorsiona en los alrededores de las esquinas debido a los efectos de difracción.

Independientemente de Mersenne, Galileo Galilei (año 1564-1642) en su “*Discorsi e Dimostrazioni Matematiche Intorno a Due Nuove Scienze*” (año 1638), proporcionó el enunciado y la discusión más lúcidos de equivalencia de frecuencia hasta la fecha.

Robert Boyle (año 1626-1691) con la ayuda de su asistente Robert Hooke (año 1635-1703) desarrolló un experimento clásico (año 1660) situando un reloj de tic-tac en una cámara de vidrio parcialmente evacuada. Así, probó que es necesario aire tanto para la producción como la emisión de sonido.

Llegados a este punto, hay que hacer una mención a Joseph Sauveur (año 1653-1713) quien sugirió el término *acústica* (de la palabra griega para el sonido) para la ciencia del sonido. Durante su investigación en la física de la música en el *College Royal* de Paris, introdujo términos tales como *fundamental*, *armonía*, *nodo* y *segmento ventral*.

Francesco Maria Grimaldi (año 1618-1663) publicó “*Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride aliisque annexis*”, el cual trataba estudios experimentales de difracción, la mayoría de los cuales eran aplicados tanto a acústica como a óptica. En 1678, Hooke anunció su ley que relacionaba fuerza con deformación, con lo que estableció los cimientos de las teorías de vibración y elasticidad.

Ernst F.F. Chladni (año 1756-1827), autor del aclamado “*Die Akustik*”, es a menudo reconocido por establecer el campo de la acústica experimental moderna a través de sus descubrimientos de vibraciones torsionales y medidas de la velocidad del sonido con la ayuda de bielas vibrantes y tubos resonantes.

A principios del siglo dieciocho nacieron las teorías físicas y los mecanismos aplicados,

particularmente bajo el ímpetu de Isaac Newton (año 1642-1726) y Gottfried Wilhelm Leibniz (año 1646-1716). La derivación teórica de la velocidad del sonido que Newton realizó en “*Principia*” motivó un torrente de mediciones experimentales.

El cálculo que realizó Newton fue erróneo, ya que para sus observaciones había asumido incorrectamente un proceso isotérmico (en lugar de un proceso con entropía constante) como el modo común para las vibraciones acústicas. Por otro lado, Giovanni Lodovico Bianoni (año 1717-1781) y Charles Marie de la Condamine (año 1701-1773) realizando experimentos separados e independientes, descubrieron que la temperatura influía en la velocidad del sonido.

En el siglo diecisiete, fueron dilucidados los fenómenos de refracción, difracción e interferencia aplicados a la acústica como a la óptica, gracias a las investigaciones realizadas por Willbrod Snell (año 1591- 1626), Christian Huygens (año 1629-1695) Pierre de Fermat (año 1601-1665) y Grimaldi.

El renacimiento de la teoría de onda fue gracias a Thomas Young (año 1773-1829) y Augustin Jean Fresnel (año 1788-1817), ambos, independientemente el uno del otro, dilucidaron el principio de interferencia. En sus análisis de difracción, Fresnel se basó en el principio de Huygens en el cual, sucesivas posiciones de un frente de onda son establecidas por la envolvente de ondas secundarias.

Armada con las herramientas analíticas proporcionadas por parte de Newton y Leibniz, la escuela matemática Francesa trató diferentes problemas de la mecánica teórica. Entre los mayores contribuidores estuvieron los hermanos Bernouilli, James (año 1654-1705) y Johann (año 1667-1748), G.F.A. l'Hôpital (Marques de St. Mesme) (año 1661-1704), Gabriel Cramer (año 1704-1752), Leonhard Euler (año 1707-1783), Jean Le Rond d'Alembert (año 1717-1783) y Daniel Bernouilli (año 1700-1783). Y la nueva generación más destacada de genios: Joseph Louis Lagrange (año 1736-1813), Pierre Simon Laplace (año 1749-1827), Adrian Marie Legendre (año 1736-1833), Jean Baptiste Joseph Fourier (año 1768-1830), y Siméon Denis Poisson (año 1781-1840).

El siglo diecinueve estuvo también dominado por descubrimientos en electricidad y magnetismo por parte de Michael Faraday (año 1791-1867), James Clerk Maxwell (año 1831-1879), Heinrich Rudolf Hert (año 1857-1894), y por la teoría de la elasticidad, principalmente

desarrollada por Clause L. M. Navier (año 1785-1836), Augustin Louis Cauchy (año 1789-1857), Rudolf J. E. Clausius (año 1822-1888), y George Gabriel Stokes (año 1890-1909).

Estos desarrollos constituyeron los cimientos para la comprensión de los aspectos físicos así como los fisiológicos de la acústica. En el intento de comprender la naturaleza del sonido musical, Simon Ohm (año 1789-1854) avanzó la hipótesis de que el oído sólo percibía una sencilla vibración pura senoidal y que cada sonido complejo es determinado por el oído en sus frecuencias fundamentales y sus armónicos. Por otro lado, Hermann F.L. von Helmholtz (año 1821-1894) presentó los fundamentos del análisis espectral en su clásico "*Lehre von den Tonempfindungen*" (Sensación del Sonido). Llegados a este punto, hay que destacar de forma reseñable la publicación del futuro laureado Nobel, Lord Rayleigh, de los dos volúmenes monumentales "*Theory of Sound*", realizados en 1877 y 1878, que establecen de una manera bastante completa los fundamentos teóricos de la acústica.

A principios del siglo veinte, Wallace Clement Sabine (año 1868-1919) en una serie de artículos (año 1900-1915) desarrollados de sus estudios de la sala de lecturas de Harvard, elevó prácticamente sin ayuda la arquitectura acústica a un estatus científico. Más tarde, Paul Earls Sabine (año 1879-1958) desarrolló los procedimientos de prueba, metodología y estandarización probando la naturaleza acústica de distintos productos y materiales. Un tercer miembro de la familia, Hale Johnson Sabine (año 1909-1981), estudió la arquitectura acústica centrada en controlar el ruido en la industria y las instituciones.

El nacimiento de los ultrasonidos se produjo en el siglo diecinueve con el descubrimiento de James P. Joules (año 1818-1889) del efecto magnetoestrictivo, la alteración de las dimensiones de un material magnético bajo la influencia de un campo magnético, y en 1880 con el descubrimiento de los hermanos Paul-Jacques (año 1855-1941) y Pierre (año 1859-1906) Curie del efecto piezoeléctrico.

Durante la Primera Guerra Mundial, Constantin Chilowsky (año 1880-1958), colaboró con Paul Langevin (año 1872-1946) en experimentos con un proyector electrostático (condensador) y un micrófono de botón de carbono situado en el foco de un espejo cóncavo. Un año después, Langevin y Robert Williams Wood (año 1868-1955) desarrollaron el primer equipo para generar rayos direccionales de energía acústica, lo que constituyó el primer uso de los ultrasonidos. En el transcurso de sus investigaciones sonoras, Wood, su asociado Alfred L. Loomis (año 1887-1975)

y Langevin observaron que pequeñas criaturas submarinas podían ser aturdidas, mutiladas, o incluso destruidas por los efectos de intensos campos ultrasónicos.

La llegada de la Segunda Guerra Mundial aumentó la actividad investigadora en este campo y se tiene que la mayoría de los conceptos y aplicaciones actuales de acústica submarina datan sus orígenes en este periodo. Fue aquí donde la acústica submarina comenzó a ser una rama madura de la ciencia y la ingeniería, respaldada por una vasta literatura e historia de logros. Algunos de los investigadores destacados de este periodo fueron Richard Henry Bolt (año 1911-2002) y Leo L. Benarek (año 1914).

Hay que señalar que la acústica contiene también la ciencia de la psicoacústica. Harvey Fletcher (año 1884-1990) describió y cuantificó los conceptos de sonoridad y enmascaramiento acústico, y así muchos de los términos determinantes de la comunicación hablada (año 1920-1940). La reproducción sonora constituyó el dominio de Harry F. Olson (año 1902-1982), quien desarrolló versiones modernas de altavoces. Warren P. Mason (año 1900-1986) determinó los fundamentos modernos de los ultrasonidos y Georg von Békésy (año 1849-1972) obtuvo el premio Nobel por su investigación en los mecanismos del oído humano. La acústica penetró en los campos de la medicina y la química por medio de los ultrasonidos.

Hay que destacar también a Phillip M. Morse quien escribió y coescribió junto con Karl Uno Ingard (año 1921) textos importantes en acústica física, a R. Bruce Lindsay (año 1900-1985) y a Robert T. Beyer, quienes contribuyeron a la acústica no lineal. En 1947 Eugen Skudrzyk (año 1913-1990) comenzó a investigar en casi todas las áreas de la acústica y escribió posiblemente el más exhaustivo texto de física acústica desde la “*Theory of Sound*” de Lord Rayleigh.

Karl D. Kryter (año 1914) se encargó de los efectos fisiológicos del ruido en humanos. Sir James Lighthill (año 1924-1998) estableció los cimientos de la aeroacústica moderna, agregando los fundamentos a las tempranas investigaciones de Lord Rayleigh. Isadore Rudnick (año 1917-1997) desarrolló los mayores experimentos en superfluidos hidrodinámicos. Lawrence A. Crum (año 1941) dirigió una importante investigación en sonofluorescencia así como en el desarrollo de diagnóstico ultrasónico y aparatos terapéuticos de medicina. Kenneth S. Suslick (año 1952) está produciendo importantes contribuciones en el campo de la sonoquímica. Whitlow W.L. Au está realizando estudios de las características acústicas de cetáceos.

Robert J. Bobber (año 1918) allanó el camino en las medidas electroacústicas submarinas. Más tarde, las radiaciones acústicas constituyeron el dominio de Sam Hanish. David Taylor (año 1917) continuó haciendo importantes contribuciones en el campo de los propulsores, los cuales suponen el estudio de la cavitación y la hidroacústica. Destacar también a David Feit (año 1937) catalogado como uno de los expertos en el campo de la acústica estructural, a William K. Blake (año 1964) destacado preeminente en la categoría de aero-hidroacústica, a Herman Medwin (año 1920) quien realizó la mayor investigación en oceanografía acústica y a Robert Joseph Urick (año 1916-1996) por aclarar y profundizar en las características de los fenómenos de la acústica submarina, incluyendo los efectos del sonar.

1.3.2. Breve introducción a la intensidad acústica

En el siglo diecinueve, Lord Rayleigh ideó un sistema con un disco suspendido donde la deflexión era proporcional al cuadrado de la velocidad de la partícula. De esta forma, creó el primer instrumento que proporcionaba una medida de la intensidad acústica, aunque no resultó demasiado práctico, debido a que sus medidas también eran perturbadas por el movimiento del aire.

En 1931 Harry Olson intentó medir el flujo de energía sonora en campos sonoros complejos presentando una aplicación para una patente, que fue otorgada al año siguiente, de un “*sistema receptivo del flujo de energía de ondas sonoras*”. Más tarde, Irving Wolff y Frank Massa, publicaron un artículo donde explicaban como el sistema “*campo vatímetro*” fue diseñado para procesar la señal desde un micrófono de presión y un micrófono de velocidad de partícula usando un principio por el cual el producto de las dos señales era obtenido de la diferencia entre los cuadrados de la suma y diferencia de las señales. Algunos años después, Olson publicó otro artículo describiendo un desarrollo para incorporar al vatímetro básico filtros de paso de banda.

Durante los siguientes 20 años, se realizaron algunos intentos esporádicos para desarrollar sistemas de medida con razonables rangos de frecuencia, pero se encontraron serios problemas con el rendimiento de inestabilidad y con la excesiva sensibilidad a condiciones ambientales, tales como viento, humedad y temperatura.

A principios de 1940, John Hermann Enns y Floyd Alburn Firestone presentaron uno

de los pocos análisis teóricos de flujo de energía acústica en campos de fuentes. Al mismo tiempo, investigaron junto a C. W. Clapp campos de intensidad sonora en un tubo de onda estacionaria y en una sala reverberante usando una combinación de un micrófono de velocidad de cinta y dos micrófonos de presión de cristal. El sistema funcionaba bien en el primer escenario, pero pobremente en la sala reverberante. En 1943, Richard Henry Bolt y Alexander Petruskas introdujeron la técnica de dos micrófonos de presión para la determinación “in situ” de la impedancia acústica de muestras de materiales, así prepararon el camino futuro para el desarrollo de los métodos de medida con dos micrófonos. Doce años después, Stuart Baker presentó sus intentos para usar un anemómetro de hilo caliente en combinación con un micrófono de presión para medir intensidad sonora; desafortunadamente, el sistema era demasiado sensitivo a extraños movimientos de aire para ser adecuado en aplicaciones de medidas de campo.

En 1956, Theodore Schultz, durante la investigación para su tesis, hizo una importante contribución al desarrollo de sistemas de medida práctica de intensidad sonora. Así, implementó el principio empleado por Bolt y Petruskas, que es ampliamente usado hoy en día, por el cual la señal de velocidad de partícula se puede obtener por integración de la diferencia entre señales producidas por dos pequeños transductores de presión espaciados una pequeña distancia medida en términos de longitud de onda del sonido a medir. Desafortunadamente para el desarrollo de los sistemas de medida prácticos, Schultz situó sus transductores separados una pequeña distancia entre sí en una configuración cara opuesta con cara opuesta. Esta configuración exigía demandas muy extremas a los circuitos electrónicos de su momento, y aunque demostró desarrollos satisfactorios en condiciones de laboratorio con campos sonoros relativamente simples, los intentos para medir el campo sonoro generado por una fuente sonora en un cerramiento rígido no fueron satisfactorios. Como Schultz explicó más tarde, el problema no fue sólo el inadecuado desarrollo del sistema de medida bajo altas condiciones reactivas sino que la falta de un análisis teórico comprensivo, y por tanto de comprensión física, del campo sonoro encerrado, también contribuyó a la falta de confianza en los resultados medidos.

A finales de los años 60, Fridolin Mechel, G. Odin y Ulrich Kurze demostraron la relación entre las componentes activa y reactiva de la intensidad acústica y los gradientes espaciales de fase y presión cuadrada. Estas relaciones fueron efectivamente implementadas en la técnica espectral indirecta de medida de la intensidad.

A principios de los años 70, B.G. van Zyl, F. Anderson y J. F. Burger [4], realizaron contribuciones pioneras en el área de aplicación de medidas de intensidad sonora para la determinación de la potencia acústica radiada por fuentes complejas. Aunque en sus trabajos iniciales usaron una combinación de micrófonos de presión y velocidad, después se percataron de la superioridad de la combinación de dos micrófonos de presión nominalmente idénticos y desarrollaron el primer medidor de intensidad analógico con un amplio rango de frecuencias y un gran rango dinámico. Posteriormente, este grupo desarrolló, como una pequeña aventura comercial, una serie de medidores de intensidad de cada vez mayor desarrollo.

En la segunda mitad de la década, H. P. Lambrich y W. A. Stahel desarrollaron un medidor de intensidad analógico de baja frecuencia (50-500 Hz) para investigaciones en el interior de coches y G. Pavic realizó uno híbrido analógico-digital. En 1977, Frank Fahy [15] publicó una técnica para medir intensidad acústica utilizando dos micrófonos condensadores y un sonómetro, basado en el principio de procesado de señal de Olson. En este estudio, también se presentaron estimaciones de las tendencias de errores incurridos en onda plana, campos monopolos y dipolos mediante el uso de la diferencia finita de la aproximación inherente en el método de los dos micrófonos.

En ese periodo, dos sistemas analógicos de medidas de intensidad acústica fueron comercialmente desarrollados y eventualmente comenzaron a estar disponibles. El instrumento de *Metravib* empleaba una sonda que incorporaba tres pequeños micrófonos *electret*, con circuitos de conectores para optimizar la distancia de separación para bajos y altos rangos de frecuencias. El instrumento de *Brüel & Kjaer* [3] empleaba micrófonos de condensadores de alta calidad en una configuración cara a cara; los filtros y el integrador estaban basados en elementos analógicos y la multiplicación junto a los subsecuentes procesos empleaban circuitos digitales.

Durante los años 70 la tecnología del procesado digital de señal se desarrolló rápidamente y su uso se fue extendiendo en forma de analizadores autónomos FFT. Al final, fueron posibles medidas de fase fiables y rápidas apretando solo un botón. De esta forma, las implementaciones para medidas de intensidad fueron profundas.

En 1977, Robin Alfredson empleó dos micrófonos condensadores configurados cara a cara para evaluar la intensidad acústica radiada por un motor multi-cilindro mediante la evaluación

de coeficientes de Fourier de los armónicos del motor y expresando la intensidad tonal en términos de las partes real e imaginaria. Lo que él no hizo sin embargo, fue separar los micrófonos mediante la adición de un cilindro sólido. Este cilindro, después se encontró necesario para la definición de la separación acústica y la eliminación de efectos de difracción indeseables.

Ese mismo año, J. M. Lambert y A. Badie-Cassagnet derivaron una expresión para la intensidad basada en las transformadas complejas de Fourier de señales de dos micrófonos cercanamente espaciados, las cuales evaluaron con un ordenador digital. Para la comprobación de su sistema, realizaron pruebas con una fuente sonora de referencia operando en una cámara anecoica (medidas de campo cercano y lejano) y en un cerramiento altamente reverberante. Por otro lado, investigaron también la influencia de una fuente parásita en una cámara semi-anecoica. Los resultados que obtuvieron fueron consistentes para un rango de frecuencias de 63 Hz - 10 kHz, excepto en el cerramiento reverberante para frecuencias por debajo de 200 Hz, donde errores superiores a 6 dB se atribuyeron a imperfecciones de adaptación de los canales transductores.

Un año más tarde, J. Y. Chung, J. Pope y otros desarrollaron una expresión de intensidad basada en la parte imaginaria de la densidad espectral cruzada entre dos micrófonos de presión cercanamente espaciados, la cual es la equivalente espectral de las expresiones de Alfredson y Lambert, y la aplicaron a la medida de la radiación sonora de componentes de automóviles. Más tarde, Chung introdujo una técnica práctica para la corrección de adaptación de fase entre canales de micrófonos.

En los años 70, la combinación de micrófonos de presión y velocidad de partículas fueron descartados en favor de una nueva combinación de dos micrófonos de presión nominalmente idénticos. Sin embargo, más recientemente, ha sido desarrollado una nueva forma de micrófono de velocidad basado en el principio de desplazamiento de Doppler por convección de un rayo ultrasónico.

En la década de los 80, se introdujeron dos series de sistemas comerciales de medida de intensidad acústica; unos basados en análisis FFT y otros en filtros digitales. Por parte de los fabricantes, hay que destacar que han realizado una contribución vital a la implementación práctica de los principios de la medida de intensidad acústica mediante el desarrollo de configuraciones optimizadas de sondas transductoras y cooperando en el desarrollo de una

normativa para la instrumentación.

La investigación ha mejorado los procedimientos de medición para la determinación de la potencia acústica de una fuente operando en presencia de otras y ha conducido al desarrollo y publicación de normativas de medición nacionales e internacionales. Otras investigaciones en este campo conciernen, entre otras, aplicaciones en conductos y edificios acústicos, mapeado de línea de potencia de flujo y modelado de fuentes sonoras mediante técnicas de matriz de micrófonos en campo cercano.

1.4. Estado actual del tema.

Consultando la diferente bibliografía existente respecto a la determinación de los niveles de potencia acústica de una fuente de ruido mediante medidas “in situ” de presión e intensidad, se puede apreciar como existe un número razonable de estudios en los que se aplica la normativa existente para presión [35], [37] e intensidad [39], [40], [41], pero siempre bajo unas condiciones más o menos ideales de aplicación para así obtener resultados con unos límites aceptables de incertidumbre.

Así, se tienen trabajos a partir de medidas de presión donde se obtienen los niveles de potencia acústica y se hacen estudios comparativos de diferentes fuentes sonoras, como por ejemplo de conductos de flujo [70] o de sistemas de ventilación [69].

Además, hay que destacar las distintas publicaciones de Richard Payne y Dan Simmons para el National Physical Laboratory [75], [76], [77], [78], [79], [80], [81], [82], donde realizan diferentes estudios sobre incertidumbres, reproducibilidad e influencia en la definición de parámetros para la mejora, corrección y perfección de la normativa de obtención de los niveles de potencia acústica existente.

Antes de comentar los diferentes estudios realizados con medidas de intensidad acústica, hay que destacar también otro estudio interesante [57] en el que se propuso una alternativa para la obtención de los niveles de potencia acústica a partir de medidas de presión acústica en condiciones reverberantes.

En relación a las medidas de intensidad acústica, hacer mención a dos autores muy importantes: F. J. Fahy [15], [16] y F. Jacobsen [42]-[52], que con sus investigaciones y publicaciones son claramente una referencia imprescindible en esta rama de la acústica.

Respecto a los estudios a partir de mediciones de intensidad acústica, se tienen diferentes publicaciones en las que se obtienen los niveles de potencia acústica de distintas fuentes sonoras [1], [5], [8], [9], [12], [13], [19], [22], [27], [54], [59], [60], [62], [63], [73], [84], [87], [89], [90], [94], donde se tienen siempre casos de estudio con entornos de ensayos controlados e “ideales”, donde la normativa existente, puede aplicarse sin problemas, limitando la incertidumbre en la

determinación de los niveles de potencia acústica a unos límites aceptables.

Destacar también las publicaciones: [24], donde se estudia la normativa existente, se valora el método de puntos discretos y de barridos y se hace hincapié en el tema de los indicadores de verificación de la estimación de la potencia acústica, y [6] donde se trata la incertidumbre en las medidas de intensidad acústica.

Finalmente, señalar que se tienen algunos estudios donde se realiza una comparación entre el método de obtención de la potencia acústica mediante medidas de presión y de intensidad [11], [23], [25], [26], [58], [65], [95].

1.5. Objetivos de la tesis.

Habiendo hecho un estudio exhaustivo del ámbito de aplicación que se recoge en las distintas normativas que abordan la determinación de niveles de potencia acústica a partir de medidas “in situ”, se ha comprobado que existen diferentes escenarios acústicos, bastante habituales en el entorno industrial, que no cumplen los requisitos que identifican a un entorno de ensayo como el adecuado para la aplicación de las directrices que se proponen para la obtención de los niveles de potencia acústica.

Por otro lado, como ya se ha visto en el apartado anterior, la bibliografía existente sobre obtención de niveles de potencia acústica, no aborda este campo de aplicación donde la normativa no aporta soluciones. Así, ante este vacío existente, se planteó la necesidad de realizar un estudio, con su correspondiente publicación, que abarcase dichos escenarios acústicos y diese unas directrices a seguir para afrontar el problema.

Con la realización de esta tesis, se pretende complementar la normativa existente y plantear un método alternativo basado en medidas “in situ” realizadas con una sonda de intensidad para la obtención de los niveles acústicos de una fuente sonora que se encuentra en unas condiciones de medida “especiales”, donde la normativa de determinación de los niveles de potencia acústica no obtendría unos resultados adecuados.

El caso práctico que se tratará y resolverá en esta tesis, y que no podría ser resuelto asegurando unos límites aceptables de incertidumbre siguiendo las directrices que marca la normativa, sería aquel en el que se quisiese determinar los niveles de potencia acústica de una fuente sonora, que no conviene que sea parada o movida de su lugar de operación, con la presencia cercana de paneles absorbentes y la influencia de otras fuentes sonoras alrededor.

Así, un primer objetivo de esta tesis es el de abordar un caso específico de determinación de los niveles de potencia acústica “in situ” de una fuente sonora en unas condiciones “no ideales” donde la normativa vigente [35], [37], [39], [40] y [41] no proporciona una solución con unos límites aceptables de incertidumbre y plantear un método alternativo que resuelva el problema y proporcione unos resultados aceptables para un grado de precisión de ingeniería.

De esta forma, con este estudio se aborda un problema ingenieril real en el que se tiene una fuente sonora en funcionamiento, que no conviene que sea detenida ni movida, cercana a paneles absorbentes y con la influencia de otras fuentes sonoras del entorno y se plantea un método alternativo para la obtención de la potencia acústica de la fuente bajo ensayo, del coeficiente de absorción de los paneles absorbentes y de los niveles acústicos generados por otras fuentes del entorno.

Tras obtener estos resultados con el método alternativo planteado para estas condiciones “no ideales”, el siguiente objetivo consistirá en la validación de dichos resultados y verificar que son aceptables.

Además del nivel de potencia acústica de la fuente sonora bajo ensayo, para completar su caracterización acústica, se estudiará su directividad utilizando medidas de presión acústica obteniendo los diagramas polares de sus niveles acústicos y de sus factores de directividad.

Por otro lado, se pretende verificar también, mediante la realización de un estudio práctico con medidas “in situ”, que el incremento entre los niveles de presión e intensidad obtenidos con la sonda de intensidad depende del coseno del ángulo que forman la componente radial y axial del vector intensidad, $\cos \theta$, y de la superficie de medida definida.

1.6. Programación de los diferentes capítulos.

Una vez realizada en este primer capítulo la introducción a los temas que se van a tratar, a continuación se detallará la estructura de los siguientes capítulos de la tesis. Los capítulos segundo y tercero tienen un carácter claramente teórico y en ellos se introducen y explican los conceptos básicos para abordar los temas que posteriormente se tratan. En el siguiente capítulo se introduce el proyecto llevado a cabo en La Organización Europea para la Investigación nuclear (CERN), donde se enmarca la realización de esta tesis, y se describen los medios utilizados así como el proceso de calibración de los equipos. Los cuatro capítulos posteriores tienen una naturaleza visiblemente práctica y en ellos se exponen y analizan los resultados obtenidos de las distintas medidas realizadas, así como del método alternativo planteado para el cálculo de la potencia acústica de la fuente, el coeficiente de absorción de los paneles absorbentes y la influencia de las fuentes sonoras del entorno. Finalmente, en los dos últimos capítulos se exponen las conclusiones obtenidas y se comentan las posibles líneas de desarrollos futuros.

A continuación, se realizará una descripción más detallada de los contenidos de cada capítulo.

El segundo capítulo de la tesis, profundiza en mayor medida sobre los fundamentos teóricos de la intensidad acústica y la realización de medidas acústicas utilizando una sonda de intensidad. Para completar este capítulo, se analizan las diferentes fuentes de error que pueden aparecer en la realización de este tipo de medidas acústicas.

En el tercer capítulo, se exponen los conceptos sobre el cálculo de la potencia acústica de una fuente a partir de las medidas de presión e intensidad acústica. Este capítulo introduce también las diferentes normativas vigentes sobre la determinación de potencia acústica de fuentes de ruido utilizando presión e intensidad acústica.

En el capítulo cuarto, se introduce el proyecto que se llevó a cabo en el CERN y que dio pie a la realización de esta tesis, se describen los equipos y software utilizados en la realización y procesado de las medidas de presión e intensidad acústica realizadas y se explica todo el proceso de calibración de la cadena de medida del sonómetro y la sonda de intensidad.

El quinto capítulo detalla las distintas fuentes sonoras que se modelizaron en la realización

de los modelos acústicos del CERN y se señalan los motivos por los que se seleccionó esta fuente de ruido para la realización de la tesis. Finalmente, se detallan los procedimientos para las medidas de presión e intensidad acústica.

En el desarrollo del sexto capítulo, se realiza un estudio de la directividad de la fuente bajo ensayo, exponiendo las medidas de presión acústica realizadas así como los distintos factores de directividad obtenidos.

El capítulo séptimo comprende la comprobación de que los niveles de potencia acústica de la fuente bajo ensayo mediante presión e intensidad siguiendo las directrices marcadas por la normativa no son los correctos porque se tienen unas condiciones “no ideales”. Una vez analizado el problema, se plantea un método alternativo a la normativa para el cálculo de la potencia acústica de la fuente, el coeficiente de absorción de los paneles absorbentes y la influencia de las fuentes sonoras del entorno.

En el capítulo octavo, se analiza el método alternativo propuesto para estas condiciones especiales, se detallan los diferentes pasos para su aplicación, se determinan los niveles de potencia acústica de la fuente bajo ensayo, los coeficientes de absorción de los paneles absorbentes y los niveles acústicos de las fuentes sonoras del entorno para las frecuencias de 125 a 10000 Hz y finalmente se realiza un análisis de los resultados obtenidos para verificar su validez.

En el capítulo noveno, se exponen las conclusiones alcanzadas con el desarrollo de esta tesis.

Finalmente, en el capítulo décimo se comentan las posibles líneas de desarrollos futuros que se podrían tener con la continuación de los estudios desarrollados en esta tesis.

Capítulo 2

Fundamentos teóricos de la intensidad acústica. Teoría de errores asociados.

2.1. Introducción.

La magnitud acústica más utilizada es la presión, la cual es una magnitud de primer orden. Sin embargo, las fuentes sonoras emiten potencia acústica y los campos sonoros son también campos de energía en los cuales las energías cinética y potencial se generan, transmiten y disipan. A pesar del hecho de que la potencia acústica radiada es una insignificante parte de la conversión de energía de casi cualquier fuente sonora, las consideraciones de energía son de enorme importancia práctica en acústica. En “energía acústica”, las fuentes de ruido son descritas en términos de su potencia acústica, los materiales acústicos en función de la proporción de potencia acústica que es absorbida y el aislamiento sonoro de divisiones en términos de la potencia acústica incidente que es transmitida. La existencia de estas suposiciones esenciales se debe a que son independientes de las circunstancias particulares. Sin embargo, estas suposiciones no son normalmente verdaderas en el estricto sentido de la palabra, aunque son buenas aproximaciones en una parte significativa del rango audible de frecuencias. Además, los métodos alternativos basados en cantidades lineales son mucho más complicados que las simples consideraciones del balance de energías.

La intensidad acústica es una medida del flujo de energía acústica en un campo sonoro. Más precisamente, la intensidad, \vec{I} , es un vector que representa el flujo instantáneo de potencia acústica a través de un área unitaria en la dirección perpendicular a dicha área, siendo sus unidades (W/m^2).

Capítulo 2. Fundamentos teóricos de la intensidad acústica. Teoría de errores asociados.

La llegada de los sistemas de medida de intensidad acústica en los años 80 ha tenido una significativa influencia en la ingeniería de control del ruido. Las medidas de intensidad acústica hacen posible determinar la potencia acústica de fuentes sin el uso de costosas instalaciones especiales tales como cámaras anecoicas o habitaciones reverberantes, siendo ahora comúnmente utilizadas en la determinación de la potencia acústica de maquinaria y otras fuentes de ruido “in situ”.

De todas formas, el método de intensidad acústica no está exento de problemas. Hay que señalar que la precisión de las medidas de intensidad acústica depende mucho del campo sonoro bajo estudio y que la distribución de la intensidad acústica en campo cercano de una fuente compleja es mucho más complicada que la distribución de presión acústica. Estos problemas están reflejados en la extensa literatura sobre errores y limitaciones de las medidas de intensidad acústica, citando algunas referencias: [1], [2], [6], [11], [12], [16], [20], [21], [22], [26], [43], [45], [46], [48], [49], [57], [62], [66], [67], [73], [86], [88], [92] y en las normativas internacionales para la determinación de potencia acústica usando intensidad acústica, [39], [40] y [41].

2.2. Conceptos fundamentales de la intensidad acústica.

2.2.1. Energía Sonora

En la teoría elemental de la acústica, se asume un modelo de gas de viscosidad cero donde la única fuerza interna es la presión, la cual aparece debido a tensiones volumétricas. La presión es una prueba del ratio de cambio del momento de las moléculas de gas producido por sus mutuas interacciones durante un movimiento aleatorio. Por su parte, la temperatura del gas es una manifestación de la densidad de energía cinética del movimiento molecular traslacional. La relación entre cambios de presión y densidad durante una tensión volumétrica depende del grado de flujo de calor entre regiones fluidas a temperatura diferentes. Durante pequeñas perturbaciones de audio-frecuencia de gases reales, el flujo caliente es insignificante en el cuerpo del gas alejado de límites sólidos y la influencia de cambios irreversibles debidos a la viscosidad del fluido y a los fenómenos de vibración molecular puede, como primera aproximación, ser omitida. El correspondiente módulo volumétrico adiabático representa un proceso conservativo elástico. Así, la energía mecánica por unidad de volumen asociada con una perturbación acústica, conocida como la *densidad de energía sonora*, e , es la suma de la energía cinética y potencial del fluido por unidad de volumen:

$$e = \frac{\rho_0 u^2}{2} + \frac{p^2}{2\rho_0 c^2} \quad (2.1)$$

Esta expresión es totalmente general y aplicable a cualquier campo sonoro donde el criterio de pequeña perturbación sea satisfecho, siendo ρ_0 la densidad del aire, u la velocidad de vibración de las partículas del aire, p la presión acústica y c la velocidad del sonido en dicho medio [16].

2.2.2. Propagación de la Energía Sonora: Intensidad acústica

Matemáticamente, el trabajo por unidad de tiempo, potencia instantánea, es la energía proporcionada por una fuerza, $d\vec{F}$, a la partícula de fluido:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = d\vec{F} \cdot \vec{u} = p \cdot d\vec{s} \cdot \vec{u} \quad (2.2)$$

donde $d\vec{s}$ es el vector elemental de superficie, el cual puede ser escrito como $ds\vec{n}$, donde \vec{n} es el vector unitario normal a la superficie, dirigido hacia el fluido que recibe el trabajo. La

intensidad instantánea en una dirección por tanto, viene dada por:

$$I = \frac{p \cdot ds \cdot \vec{n} \cdot \vec{u}}{ds} = p \cdot u_n \quad (2.3)$$

De forma más genérica, se define el vector intensidad instantánea en una posición, como:

$$\vec{I}(\vec{r}, t) = p(\vec{r}, t) \cdot \vec{u}(\vec{r}, t) \quad (2.4)$$

Si se considera su valor medio en un periodo de tiempo, T , se tiene el vector intensidad promedio:

$$\vec{I}(\vec{r}) = \frac{1}{T} \int_0^T p(\vec{r}, t) \cdot \vec{u}(\vec{r}, t) dt \quad (2.5)$$

La dirección del vector, \vec{I} , es tangente a las líneas de flujo de la energía acústica e informa sobre cómo se desplaza la energía acústica en el espacio durante la propagación del sonido [16].

2.2.3. Intensidad acústica en campos de onda plana

La relación entre la presión instantánea y la velocidad instantánea de la partícula en un campo unidimensional de interferencia de onda plana viene dada por:

$$u^+ = \frac{p^+}{\rho_0 c} \quad u^- = -\frac{p^-}{\rho_0 c} \quad (2.6)$$

Donde los superíndices hacen referencia a las componentes de propagación en la dirección negativa y positiva. Así, sustituyendo en la ecuación (2.4) la intensidad acústica viene dada por la expresión:

$$I(x, t) = \frac{[(p^+)^2 - (p^-)^2]}{\rho_0 c} \quad (2.7)$$

donde la dependencia de las presiones en el espacio x y en el tiempo t es implícita. El valor promedio de I en un campo estacionario está dado por la ecuación anterior (2.7) cambiando los cuadrados de las presiones instantáneas por los cuadrados de las presiones eficaces [16].

Capítulo 2. Fundamentos teóricos de la intensidad acústica. Teoría de errores asociados.

Incluso en los campos sonoros más elementales está claro que no sería posible medir intensidad acústica con un micrófono de presión en una sola posición fija, porque no se podría distinguir entre las presiones asociadas con las dos componentes de la onda viajando en direcciones opuestas.

Así, se tiene que en cualquier región local hay un intercambio continuo entre energía cinética y potencial, en el cual se puede sobreponer un flujo medio de energía a través de dicha región. Este fenómeno puede ser entendido más claramente considerando una onda plana simple. De esta forma, si se tiene una onda plana *progresiva* representada por la ecuación siguiente:

$$p(x, t) = A_0 \cos(\omega t - kx + \phi_p) \quad (2.8)$$

Donde A_0 es la amplitud de la onda, ω la frecuencia angular, k el número de ondas y ϕ_p la fase respecto a un determinado origen espacio-temporal.

Se tiene que las densidades de energía cinética y potencial son iguales en todo momento y posición, con lo que la densidad de energía sonora sería:

$$e(x, t) = \left[\frac{A_0^2}{2\rho_0 c^2} \right] \cos^2(\omega t - kx + \phi_p) \quad (2.9)$$

De las ecuaciones (2.7) y (2.9) la intensidad instantánea quedaría:

$$I(x, t) = \left[\frac{A_0^2}{\rho_0 c} \right] \cos^2(\omega t - kx + \phi_p) = ce \quad (2.10)$$

Teniéndose:

$$\frac{I}{e} = c \quad (2.11)$$

Para todo x y t . Por otro lado, la intensidad promedio resultaría:

$$\bar{I} = \frac{A_0^2}{2\rho_0 c} = c\bar{e} \quad (2.12)$$

Las distribuciones espaciales de energías instantáneas e intensidad son ilustradas en la *Figura 2.1*.

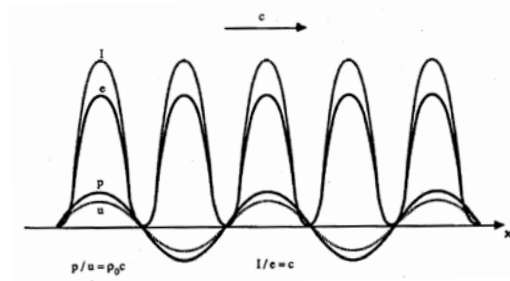


Figura 2.1: Distribuciones espaciales instantáneas de la presión, la velocidad, la densidad de energía y la intensidad acústica de una onda progresiva plana [16]

Ahora, considerando una onda pura estacionaria donde la presión toma la expresión:

$$p(x, t) = 2A_0 \cos(\omega t + \phi_1) \cos(kx + \phi_2) \quad (2.13)$$

Las distribuciones espaciales de la densidad de energía cinética y potencial son mostradas en incrementos de tiempo de $1/8$ de periodo en la Figura 2.2.

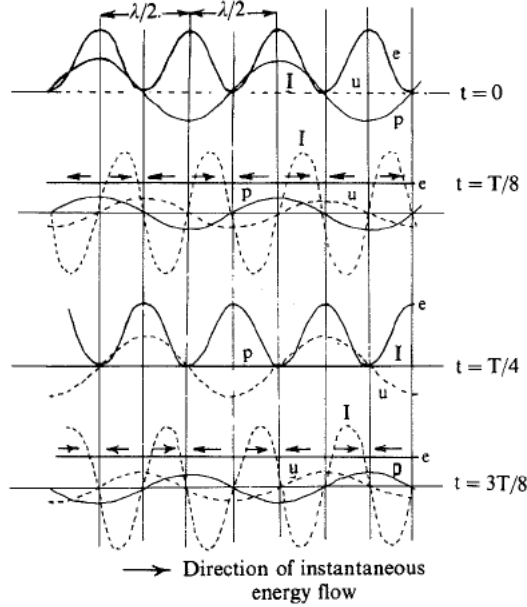


Figura 2.2: Distribuciones espaciales instantáneas de la presión, la velocidad, la densidad de energía y la intensidad acústica de una onda pura estacionaria en intervalos de $1/8$ de periodo [16]

Capítulo 2. Fundamentos teóricos de la intensidad acústica. Teoría de errores asociados.

La distribución de densidad de energía total instantánea viene dada por la ecuación:

$$e(x, t) = \left[\frac{A_0^2}{\rho_0 c} \right] [1 + \cos(2\omega t + 2\phi_1) \cos(2kx + 2\phi_2)] \quad (2.14)$$

Y la distribución de intensidad instantánea es dada por:

$$I(x, t) = \left[\frac{A_0^2}{\rho_0 c} \right] [\sin(2\omega t + 2\phi_1) \sin(2kx + 2\phi_2)] \quad (2.15)$$

En este caso, se tiene que $\frac{I}{e} \neq c$ e $\bar{I} = 0$.

La intensidad instantánea expresada por la ecuación (2.15) representa un flujo puramente oscilatorio de energía sonora, alternando concentraciones entre energía cinética y potencial [16].

En todos los campos acústicos estacionarios, excepto para los casos muy especiales de una onda *progresiva* plana, la intensidad instantánea puede ser dividida en dos componentes: una componente activa (la cual tiene un valor promedio no nulo, correspondiente a un transporte local neto de energía sonora) y una componente reactiva (cuyo valor promedio es nulo, correspondiente a un transporte oscilatorio local de energía). En cualquier frecuencia, estas dos componentes de la intensidad están respectivamente asociadas con las componentes de la velocidad de la partícula en fase y en cuadratura con la presión acústica.

Hay que comentar, que la presencia de intensidad activa local en un campo no implica necesariamente que haya transporte neto de energía por toda una región extendida de ese campo.

Una manera general de identificar las componentes activa y reactiva en un campo plano unidimensional es utilizando notación compleja. De esta forma, la presión se representaría como:

$$p(x, t) = p_r(x) e^{j(\omega t + \phi_p(x))} \quad (2.16)$$

Donde $p_r(x)$ es la amplitud y $\phi_p(x)$ es la fase.

Y la velocidad de la partícula quedaría como:

$$u(x, t) = \left(\frac{j}{w\rho_0} \right) \frac{\partial p}{\partial x} = \left(\frac{1}{w\rho_0} \right) \left[-p_r(x) \left(\frac{d\phi_p}{dx} \right) + j \left(\frac{dp_r}{dx} \right) \right] e^{j(wt+\phi_p)} \quad (2.17)$$

Así, el vector intensidad se expresa como:

$$\vec{I} = \text{Real}(p) \cdot \text{Real}(\vec{u}) \quad (2.18)$$

Donde la componente de la velocidad de la partícula en fase con la presión está asociada con la componente activa de la intensidad y la componente de la velocidad de la partícula en cuadratura con la presión está asociada con la componente reactiva de la intensidad.

$$\vec{I} = \left[\left(-\frac{p_r^2}{w\rho_0} \frac{d\phi_p}{dx} \cos^2(wt + \phi_p) \right) - \left(\frac{1}{4w\rho_0} \frac{dp_r^2}{dx} \sin 2(wt + \phi_p) \right) \right] \vec{i} \quad (2.19)$$

Se puede apreciar, que la componente activa de la intensidad es proporcional al gradiente espacial de fase y la componente reactiva es proporcional al gradiente espacial de la amplitud de la presión al cuadrado. Los frentes de onda, los cuales son superficies de fase uniforme, se encuentran perpendiculares a la dirección del vector intensidad activa [16].

En la práctica, los campos sonoros raramente tienen una dependencia en el tiempo tan simplificada como ha sido considerada hasta ahora, por lo tanto, será interesante además considerar las componentes de la intensidad activa y reactiva para el caso de campos sonoros de dependencia temporal arbitraria.

Jacobsen [43] afronta este tema definiendo la intensidad acústica reactiva promediada como:

$$\vec{J} = \overline{\tilde{p}(t)\vec{u}(t)} \quad (2.20)$$

Donde $\tilde{p}(t)$ es la transformada de Hilbert de $p(t)$

En un campo sonoro de un tono puro, las componentes activa y reactiva de la intensidad en promedio temporal se expresan como:

$$\vec{I}_a = -\frac{\overline{p^2(t)}}{\rho_0 c} \left(\frac{\vec{\nabla} \phi_p}{k} \right) \quad (2.21)$$

$$\vec{I}_r = -\vec{\nabla} \left(\frac{\overline{p^2(t)}}{2\rho_0 c k} \right) \quad (2.22)$$

Cuando se tenga un campo sonoro que no sea de un tono puro, no se puede separar las componentes instantáneas, en fase y en cuadratura con la presión, de la velocidad de la partícula. En cambio, si se pueden encontrar expresiones matemáticas análogas para analizar campos no estacionarios [43].

2.2.4. Principios en las medidas de intensidad acústica

La relación entre la presión acústica y la velocidad de una partícula en un campo sonoro depende del tipo de campo que se trate, con lo que dicha relación no es única. Por tanto, se necesita utilizar al menos dos transductores para determinar la intensidad acústica. El par de transductores están físicamente asociados en una sonda de intensidad, siendo la tipo $p-u$ y la $p-p$ las más utilizadas. El primer tipo de sonda combina un transductor de presión (micrófono) con una unidad de transducción de velocidad. Por otro lado, la sonda $p-p$, está formada por dos transductores de presión, normalmente idénticos.

En los estudios realizados en esta tesis, se ha utilizado una sonda $p-p$ con una configuración de posicionamiento de los dos transductores de presión de tipo cara a cara (*face-to-face*). De esta forma, los dos micrófonos condensadores de alta calidad, nominalmente iguales, están situados juntos en una estructura de soporte diseñada para minimizar la difracción del campo sonoro incidente.

Con esta técnica de medida, una señal proporcional a la componente de la velocidad que no es colineal con el eje de la sonda, es obtenida empleando una aproximación de diferencias finitas para el gradiente espacial local de presión acústica. Teniendo que en un campo sonoro de pequeña amplitud, la componente del gradiente de presiones en cualquier dirección n es proporcional a la componente de la aceleración de la partícula del fluido en esa dirección, se verifica que [16]:

$$\frac{\partial p}{\partial n} = -\rho_0 \frac{\partial u_n}{\partial t} \quad (2.23)$$

Así, la correspondiente componente de la velocidad de la partícula viene dada por la expresión:

$$u_n(t) = -\frac{1}{\rho_0} \int_{-\infty}^t \frac{\partial p(\tau)}{\partial n} d\tau \quad (2.24)$$

Y realizando una aproximación en la ecuación anterior, se tiene:

$$u_n(t) \approx \frac{1}{\rho_0 d_s} \int_{-\infty}^t [p_1(\tau) - p_2(\tau)] d\tau \quad (2.25)$$

Donde d_s es la distancia de separación entre los centros acústicos de los micrófonos y se denomina *distancia de separación*.

La presión en este punto medio entre los micrófonos es aproximado como:

$$p(t) \approx \frac{1}{2} [p_1(t) + p_2(t)] \quad (2.26)$$

Así, la componente de la intensidad instantánea viene dada por:

$$I_n(t) \approx \left(\frac{1}{2\rho_0 d_s} \right) [p_1(t) + p_2(t)] \int_{-\infty}^t [p_1(\tau) - p_2(\tau)] d\tau \quad (2.27)$$

2.3. Medidas de intensidad acústica.

En los últimos años se han desarrollado diferentes métodos y técnicas para la realización de medidas directas de intensidad acústica. Estas medidas directas han hecho posible determinar la potencia acústica de una gran variedad de configuraciones de fuentes y hacer medidas en entornos donde las medidas de presión para la determinación de potencia acústica no son adecuadas. Algunas de las aplicaciones incluyen casos tales como: la determinación de la potencia acústica en campo cercano de grandes fuentes, la realización de medidas en cerramientos eliminando los efectos adversos de ondas permanentes, la determinación parcial de la potencia acústica de partes de la fuente estando todas en funcionamiento y el análisis del comportamiento de la fuente encontrando las áreas de radiación y absorción sonora.

Como ya se ha comentado en el apartado anterior, para determinar la intensidad acústica, se debe medir la presión acústica y la velocidad de la partícula. Mientras que por un lado se disponen de buenos micrófonos para medir la presión acústica, no ocurre lo mismo con los micrófonos de precisión para medir la velocidad de la partícula. Recientemente, han sido desarrollados prototipos de micrófonos de velocidad que pueden medir las tres componentes del vector velocidad por medio de una técnica de cable-caliente [14]. Sin embargo, las normas que tratan las medidas para la obtención de la potencia acústica están basadas en la técnica de los dos micrófonos de presión para la determinación de la velocidad.

La técnica de intensidad permite, en la mayoría de las situaciones, medidas para la obtención de la potencia acústica de una fuente de cualquier tamaño operando en su entorno natural, convirtiéndose además en una herramienta analítica para determinar la radiación de potencia acústica de diferentes regiones de la superficie de la fuente, localizando aquellas regiones con una mayor potencia de radiación. Los detalles de estas importantes aplicaciones pueden ser encontrados en [16] y [67].

2.4. Errores en las medidas de intensidad acústica.

En la realización de medidas de intensidad acústica se tienen errores asociados debidos a los siguientes factores: aproximaciones realizadas en las relaciones asumidas entre las cantidades directamente transducidas y la intensidad (en este caso se trata de un error inherente); imperfecciones de la sonda como un transductor; imperfecciones en el tratamiento de la señal y en el proceso de conversión de señales analógicas adquiridas a las cantidades requeridas para calcular la intensidad; errores de calibración; variaciones de la sensibilidad del transductor respecto del valor de calibración producidas por las condiciones del entorno; “*ruido*” producido por cualquiera de las alteraciones no acústicas (tales como turbulencias producidas por corrientes de aire, o por el mismo instrumento) y errores asociados con el tiempo de integración y promedio utilizados en el procedimiento de la estimación espectral. Por otro lado, añadir que el proceso de conversión de los cálculos de la intensidad acústica a la potencia acústica de una fuente está sujeto a adicionales fuentes de error tales como: el error de muestreo del campo de intensidad espacial, los errores de los instrumentos asociados al desfase entre canales y los errores aleatorios asociados a promedios temporales y a estimaciones espectrales.

2.4.1. Errores sistemáticos inherentes a las técnicas de medida de intensidad acústica.

Las dos diferentes técnicas actualmente utilizadas para la transducción de la presión acústica y la velocidad de la partícula están sujetas a errores sistemáticos que aparecen al implicar aproximaciones inherentes a los principios de transducción empleados. Los errores inherentes a la técnica p - p son diferentes en naturaleza a los inherentes a la técnica p - u . Estos errores resultantes son el resultado directo de los principios de medida de intensidad empleados y no de imperfecciones en los sistemas de medida por sí mismos. Los errores inherentes son, sin embargo, función del tipo de campo bajo investigación y de la orientación de la sonda en el campo. La implicación directa de este hecho es que la magnitud de un error inherente nunca puede ser estimada precisamente en un campo sonoro arbitrario. Sin embargo, se tienen ejemplos de errores en un rango de campos sonoros idealizados para proporcionar una indicación de su sensibilidad a los parámetros del campo y a la sonda de medida.

El error inherente en la aplicación de la técnica p - p es el error de diferencias finitas, y se debe a que se utiliza la aproximación de diferencias finitas para obtener el gradiente de

Capítulo 2. Fundamentos teóricos de la intensidad acústica. Teoría de errores asociados.

presión y de ahí estimar la velocidad de la partícula. Para altas frecuencias, la aproximación del gradiente deja de ser adecuada ya que la distancia entre los micrófonos deja de ser pequeña en comparación con la longitud de onda.

Así, para cuantificar el error de diferencias finitas [16], se toma dicho error asociado a una onda plana. De esta forma, para obtener un error menor a ± 1 dB se debe cumplir que:

$$f \cdot d_s < 60 \quad (2.28)$$

Para el desarrollo de esta tesis, se pretende estudiar las medidas de intensidad acústica entre las frecuencias de 125 Hz a 10000 Hz. Suponiendo un espaciador de 12 mm, según lo visto anteriormente, en las medidas se tendría un error menor a ± 1 dB hasta una frecuencia de 5000 Hz y a partir de esta frecuencia se debería utilizar un espaciador de menor espesor para conseguir dicho error.

Sin embargo, considerando los estudios realizados por Jacobsen, Cutanda y Juhl con sondas de intensidad para altas frecuencias [49], en los que se demuestra que cuando la longitud del espaciador es aproximadamente igual al diámetro de los micrófonos, el error de la aproximación de diferencias finitas queda prácticamente compensado por los efectos de difracción en el propio micrófono, con lo que así se puede extender el rango de frecuencias de validez de las medidas hasta una octava por encima de lo comúnmente establecido (de 5000 Hz a 10000 Hz).

De esta forma, en la realización de todas las medidas de intensidad acústica para el desarrollo de esta tesis, se utilizará un espaciador de 12 mm.

2.4.2. Errores debidos al rendimiento de la sonda.

Para comenzar, hay que señalar que el desfase de las respuestas de amplitud y fase de los dos transductores de la sonda p - p es de vital importancia. El efecto del desfase sobre la precisión de cualquier medida en particular depende por un lado de las magnitudes relativas del desfase entre canales del sistema de medida y la actual diferencia de fase de las presiones acústicas en los puntos de detección del transductor (esta segunda razón depende de la naturaleza del campo sonoro y de la localización y orientación de la sonda respecto al campo). El error fraccionado asociado debido al desfase entre canales varía desde un valor finito al infinito.

Capítulo 2. Fundamentos teóricos de la intensidad acústica. Teoría de errores asociados.

La diferencia de fase, kd_s , en un onda plana progresiva es convencionalmente tomada como valor de referencia para diferencias de fase en otros campos sonoros.

La diferencia entre los valores del nivel de presión acústica y del nivel de intensidad acústica (llamada así porque la sonda indica solamente la componente de la intensidad en la dirección de la sonda en el eje de medida) es conocida como el *Índice de Presión-Intensidad*:

$$\delta_{pI} = L_p - L_{|I_i|} \quad (2.29)$$

Así, δ_{pI} depende del tipo de campo sonoro, de la posición y orientación de la sonda y del desfase entre canales. En lo que respecta a la distancia de separación, d_s , no afecta al *Índice de Presión-Intensidad* a menos que el desfase introducido por la cadena de medida, ϕ_s , tenga un valor similar a la diferencia de fase de campo, ϕ_f [16].

Como el desfase entre canales tiene una influencia en el valor del *Índice de Presión-Intensidad*, éste no puede ser por si mismo un indicador del error debido al desfase. Sin embargo, siempre que el desfase sea mucho menor que la diferencia de fase de campo, δ_{pI} constituye una guía útil para la realización de una medida exacta de la intensidad.

El error sistemático normalizado en intensidad debido a un desfase entre canales puede ser escrito como:

$$e_\phi(I) = \frac{\phi_s}{\phi_f} \quad (2.30)$$

Si la sonda es situada en un campo sonoro especialmente controlado de presión uniforme, en el cual $\phi_f = 0$, y $I_i = 0$, la proporción $\frac{\phi_0}{(\phi_f \pm \phi_s)}$ se hace igual a $\pm \frac{\phi_0}{\phi_s}$ [16].

Así, considerando las condiciones anteriores, el correspondiente *Índice de Presión-Intensidad* es conocido como el *Índice de Presión-Intensidad Residual*, indicado por δ_{pI0} . Por lo tanto, δ_{pI0} es una medida del desfase del sistema de medida. La diferencia entre δ_{pI0} y δ_{pI} medidos en un campo sonoro es una medida del error fraccionado $e_\phi(I)$, a condición de que ϕ_s sea independiente del tipo de campo sonoro.

$$\delta_{pI_0} - \delta_{pI} = 10 \log \left| 1 + \frac{\phi}{\varphi} \right| = 10 \log \left| \left(1 + \frac{1}{e_{\varphi}(\hat{I})} \right) \right| = 10 \log \left| 1 + \frac{\phi_f}{\phi_s} \right| = 10 \log \left| \left(1 + \frac{1}{e_{\phi}(I)} \right) \right| \quad (2.31)$$

El proceso de calibración de la sonda de intensidad que se verá con más detalle en el apartado 4.3, se basa en esta idea, y para conseguir dichas condiciones especiales, se utiliza un receptáculo que se llama *acoplador de intensidad* (Figura 2.3).

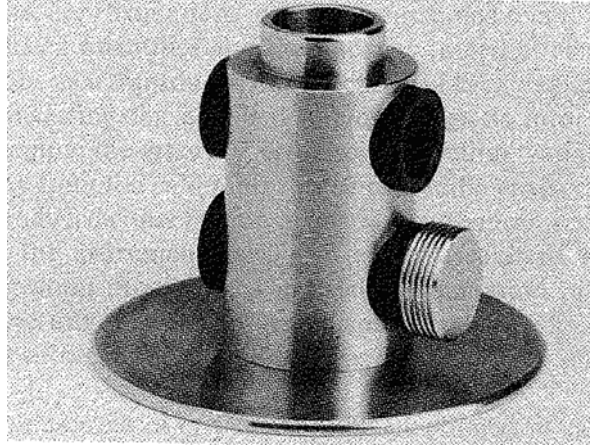


Figura 2.3: Acoplador de intensidad

Enlazando con lo visto anteriormente, comentar que para conseguir un error normalizado de $\pm 0,25$ o, lo que es equivalente, un error de $\pm 1dB$ en la estimación de I , se debe cumplir que [21]:

$$L_{\phi} = \delta_{pI_0} - \delta_{pI} \approx 7dB \quad (2.32)$$

Análogamente, para un error en la estimación de I de $\pm 0,5dB$, se debe cumplir [21]:

$$L_{\phi} = \delta_{pI_0} - \delta_{pI} \approx 10dB \quad (2.33)$$

Capítulo 2. Fundamentos teóricos de la intensidad acústica. Teoría de errores asociados.

Como una indicación de la importancia del desfase entre canales, esta cantidad puede ser determinada como el *Índice de Error de Fase*, sin embargo, hay que tener en cuenta que el error aumenta cuando este índice disminuye. Comentar también que el efecto de un desfase entre canales disminuye con el aumento de la frecuencia.

Además del desfase entre canales, los dos transductores pueden diferir en sensibilidad. La suma y diferencia de presiones son alteradas en magnitud y fase por el desfase de sensibilidad; así, por este motivo, la presión y la velocidad de la partícula son los parámetros estimados. En ausencia de desfase entre canales, el desfase de sensibilidad no produce error en la estimación de la intensidad promedio. Por otro lado, hay que destacar que la estimación de la intensidad reactiva, la cual es proporcional a la diferencia del cuadrado de presiones promediadas, es altamente sensible a los errores en calibraciones individuales de los transductores.

Señalar también que las estimaciones de la amplitud y fase de la velocidad de la partícula, la cual es proporcional a la diferencia de presiones, son también sensibles a tales errores (los cuales también afectarán a la precisión de las estimaciones, dependientes del tiempo, de la intensidad en campos no estacionarios). Si el desfase entre canales está también presente, los efectos de ambos tipos de desfases pueden llegar a ser agravados de una manera más complicada, dependiendo del error resultante de las características del campo bajo investigación.

Comentar finalmente que el error de fases también distorsiona la sensibilidad direccional de la sonda p - p .

2.4.3. Errores sistemáticos producidos por el desfase de canales entre los transductores y la señal asociada condicionada.

Los micrófonos no solamente responden a los campos sonoros, también lo hacen a fluctuaciones de presiones no acústicas en flujos de fluidos no permanentes [21], [44]. Éstos pueden comprometer en gran medida la precisión de las medidas de intensidad acústica, especialmente cuando las presiones no acústicas están parcialmente correlacionadas. Asumiendo que las presiones detectadas son acústicas en su totalidad, la relación entre la presión cuadrática promedio en un punto del campo sonoro de frecuencia simple y la componente de la intensidad estimada en la dirección del eje de la sonda p - p viene dada por la ecuación (2.34), siendo la dirección positiva de la intensidad la dada desde el centro acústico del *micrófono 1* al *2*.

$$I = \left(\frac{\bar{p}^2}{\rho_0 c} \right) \frac{\phi_f}{k d_s} \quad (2.34)$$

Donde I es la componente del vector intensidad dirigido a lo largo del eje de la sonda. En cualquier frecuencia, el efecto del desfase, ϕ_s , entre los dos canales de una cadena transductor-señal se puede estimar como [16]:

$$I_e = \left(\frac{\bar{p}^2}{\rho_0 c} \right) \frac{(\phi_f + \phi_s)}{k d_s} \quad (2.35)$$

En donde se asume que la valoración de \bar{p}^2 es imparcial. Si ϕ_s es de signo opuesto a ϕ_f , la intensidad será subestimada; y si es también mayor que ϕ_f , las componentes de la intensidad estimada y la verdadera estarán opuestamente dirigidas. El error normalizado será:

$$e_\phi(I) = \frac{(I_e - I)}{I} = \frac{\phi_s}{\phi_f} \quad (2.36)$$

Si la sonda p - p se sitúa en un campo sonoro donde los micrófonos son expuestos a idénticas presiones, es decir $\phi_f = 0$, la intensidad “*residual*” indicada viene dada por la ecuación:

$$I_{res} = \left(\frac{\bar{p}^2}{\rho_0 c} \right)_{res} \cdot \left(\frac{\phi_s}{k d_s} \right) \quad (2.37)$$

En donde el subíndice “*res*” en el término de presión sirve para indicar el valor particular que existe en estas condiciones de campo especial. Combinando las ecuaciones (2.34),(2.36) y (2.37) se tiene:

$$I_e - I = I_{res} \cdot \left[\frac{\left(\frac{\bar{p}^2}{\rho_0 c} \right)}{\left(\frac{\bar{p}^2}{\rho_0 c} \right)_{res}} \right] \quad (2.38)$$

Se denotará a esta expresión como D [16]. En el caso en el que la impedancia del fluido tenga las mismas características en el ensayo y en la calibración, se tiene que:

$$D = I_e - I = I_{res} \left[\frac{\bar{p}^2}{\bar{p}_{res}^2} \right] \quad (2.39)$$

Así, el correspondiente error normalizado quedaría:

$$e_{\phi}(I) = \frac{(I_e - I)}{I} = \frac{D}{(I_e - D)} \quad (2.40)$$

Este error puede ser expresado también en términos de diferencias entre el *Índice de Presión-Intensidad Residual*, δ_{pI0} , y el *Índice de Presión-Intensidad*, δ_{pI} , observado en el campo. Por definición:

$$\frac{\overline{p^2}}{\rho_0 c} = |I_e| \cdot 10^{\frac{\delta_{pI}}{10}} \quad (2.41)$$

y

$$\left(\frac{\overline{p^2}}{\rho_0 c} \right)_{res} = |I_{res}| \cdot 10^{\frac{\delta_{pI0}}{10}} \quad (2.42)$$

Donde el término D puede ser escrito como [16]:

$$D = \pm I_e \cdot 10^{-(\delta_{pI0} - \delta_{pI})/10} \quad (2.43)$$

Debido al hecho de que los signos (dirección) de la intensidad son suprimidos en la definición de los índices de presión, el signo positivo es elegido si I_e e I_{res} tienen el mismo signo (es decir, la dirección por referencia de los datos de calibración). Así, la relación para estimar la intensidad verdadera es dada por:

$$\frac{I_e}{I} = \left[1 \pm 10^{\frac{L_{\phi}}{10}} \right]^{-1} \quad (2.44)$$

Y el error normalizado viene dado por:

$$e_{\phi}(I) = \left[\pm \left(10^{\frac{L_{\phi}}{10}} \right) - 1 \right]^{-1} \quad (2.45)$$

Estas ecuaciones son válidas siempre que el cociente I_e/I se mantenga positivo [16].

2.4.4. Errores aleatorios asociados con la estimación espectral.

Incluso si los errores sistemáticos de una estimación de la intensidad pueden ser cuantificados con bastante precisión, existen incertidumbres inherentes entre la diferencia de un valor estimado de una cantidad derivada indicada por un instrumento de procesamiento de señal y el valor real de esta cantidad. Esta diferencia se denomina “*error aleatorio*”.

El error aleatorio se puede generar por limitaciones inherentes o deficiencias de la instrumentación, tales como aquellas producidas por un flujo turbulento, o por limitaciones de las técnicas de procesamiento utilizadas para realizar la estimación, en particular, el tiempo finito de procesamiento. Esta fuente de error no depende sólo de la naturaleza de las señales y de los procedimientos para el procesamiento de la señal sino también del tipo de campo sonoro bajo investigación.

Capítulo 3

Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente.

3.1. Introducción.

El control del ruido puede considerarse como un problema sistemático, cuyo sistema esta formado por tres elementos principales: la fuente, la trayectoria y el receptor.

En cualquier problema de control del ruido, la energía sonora de la fuente o fuentes viaja en multitud de trayectorias, por el aire y por estructuras sólidas, hasta llegar al receptor (una persona o grupo de personas, un micrófono u otro instrumento, o una estructura que es afectada por el ruido). Tres acciones están asociadas a la fuente, la trayectoria y el receptor y son: emisión, transmisión y recepción. La energía se emite por una fuente sonora y se transmite a un receptor donde se recibe.

El nivel de presión acústica es el parámetro físico que normalmente se utiliza para describir cuantitativamente un campo sonoro, siendo el sonómetro el instrumento necesario para medir dicho nivel en la posición del campo sonoro ocupada por el receptor. Por tanto, el indicador más utilizado es el nivel de presión acústica en decibelios. Sin embargo, el nivel de presión acústica no es por si mismo una magnitud satisfactoria para describir la intensidad de emisión de una fuente sonora porque el nivel de presión acústica varía con la distancia desde la fuente y con el entorno acústico en el cual la fuente opera.

Capítulo 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente.

Así, dos magnitudes son necesarias para caracterizar una fuente sonora: su nivel de potencia acústica y su directividad. El nivel de potencia acústica indica la potencia total radiada por la fuente en todas las direcciones y normalmente se representa en función de la frecuencia. De esta forma, el nivel de potencia acústica es el mejor indicador de la emisión de energía sonora de una fuente, expresado en decibelios.

La directividad de una fuente indica la variación de su radiación sonora para las distintas direcciones de emisión. La directividad se expresa normalmente en función de la posición angular alrededor del centro acústico de la fuente y también como una función de la frecuencia. Así, se pueden tener fuentes omnidireccionales (fuentes que emiten su energía sonora en todas las direcciones por igual) y direccionales (son aquellas que radian más energía sonora en unas direcciones que en otras).

A partir del nivel de potencia acústica y la directividad, se caracteriza acústicamente una fuente sonora y es posible calcular sus niveles de presión acústica producidos en el entorno acústico donde opera.

Las potencias acústicas de fuentes sonoras de interés práctico cubren un rango muy amplio de ordenes de magnitud. Por lo tanto, es conveniente expresar la potencia acústica en una escala logarítmica usando una potencia acústica internacionalmente acordada, $W_0 = 10^{-12} \text{ W}$, como la referencia para el logaritmo.

Debido a que la potencia acústica emitida por una fuente se determina mediante medidas de magnitudes de campo tales como la presión o la intensidad acústica, es importante entender el campo de radiación de una fuente sonora cuando se sitúa en varios entornos acústicos. El carácter del campo de radiación de una fuente típica de ruido, varía normalmente con la distancia desde la fuente. En la proximidad de la fuente, la velocidad de la partícula no se encuentra necesariamente en la dirección de propagación de la onda sonora y su componente tangencial puede existir en cualquier punto. Este es el campo cercano y se caracteriza por variaciones apreciables de la presión acústica con la distancia desde la fuente a lo largo de un radio dado, incluso cuando la fuente está en campo libre. Además, en campo cercano, la intensidad acústica no puede ser relacionada de forma simple con el valor del cuadrado medio de la presión acústica.

Capítulo 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente.

La extensión del campo cercano desde la fuente depende de la frecuencia y de las fases de las partes radiantes de la superficie de la fuente. De esta forma, es difícil establecer con precisión los límites del campo cercano de una fuente, con lo que a menudo es necesario explorar el campo sonoro de forma experimental.

En campo lejano, y estando en condiciones de campo libre, los niveles de presión acústica decrecen 6 dB cada vez que se dobla la distancia desde la fuente. En estas condiciones, la velocidad de la partícula tiene predominantemente la dirección de propagación de la onda sonora.

3.2. Teoría de la potencia acústica.

Como ya se ha introducido, la potencia acústica radiada se considera generalmente como una propiedad intrínseca de la fuente, pudiéndose utilizar como un parámetro cuantitativo de su emisión acústica (aunque hay que comentar que aun siendo cierto que la potencia acústica de una fuente está menos influenciada por la naturaleza de su entorno que la presión acústica asociada, ésta no es totalmente independiente de su entorno).

La principal importancia de la potencia acústica es que es la principal magnitud sobre la cual se debe basar una predicción del efecto potencial de una fuente en cualquier entorno operacional. Además, constituye la base para la comparación entre rendimientos acústicos de productos de diferentes fabricantes; es una de las más importantes magnitudes acústicas que están controladas en la legislación y las regulaciones; y su dependencia sobre los parámetros físicos y operacionales de un sistema generador de ruido proporciona una base para la identificación y caracterización de fuentes.

Por lo tanto, debido a que la potencia acústica de una fuente es mucho menos dependiente del entorno de operación que la presión radiada, el desarrollo de métodos fiables para su medida es de gran importancia práctica. Las medidas de intensidad acústica han hecho avanzar enormemente este área de la tecnología acústica.

Las principales aplicaciones de las medidas de intensidad acústica pueden ser clasificadas en términos generales como:

- Determinación de la potencia acústica de fuentes;
- Medición de la transmisión de energía sonora a través de particiones;
- Medición de las propiedades de absorción sonora de materiales y estructuras;
- Identificación y clasificación de regiones sonoras;
- Medición del flujo de energía de ondas sonoras.

Un factor que es común a todas las aplicaciones de las medidas de intensidad acústica es la determinación de la potencia acústica que pasa a través de una superficie definida. Incluso en el proceso de localización de fuentes, es esencialmente más importante la potencia acústica de determinadas regiones fuente que las medidas puntuales de intensidad acústica.

3.2.1. Principios de la determinación de la potencia acústica de una fuente

Para comenzar, se parte de la ecuación de conservación de energía:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{I}(t) = -\frac{\partial e}{\partial t} = -\frac{d}{dt} \left(\frac{dE}{dV} \right) \quad (3.1)$$

Que plantea que en un campo sonoro estacionario, la divergencia del vector intensidad es igual a la variación temporal de la densidad volumétrica de energía acústica, cambiada de signo. La integración de esta ecuación sobre un volumen finito puede realizarse mediante el teorema integral de Gauss, por el cual el volumen integral de la divergencia de cualquier vector de campo puede ser expresado en términos de la integral sobre la superficie envolvente de la componente del vector normal de la superficie:

$$\int_V \vec{\nabla} \cdot \vec{A} dV = \int_s \vec{A} \cdot d\vec{s} = \int_s \vec{A} \cdot d\vec{s} \vec{n} = \int_s A_n \cdot ds \quad (3.2)$$

Donde \vec{n} es el vector normal de la superficie s que envuelve el volumen V , y A_n es la magnitud de la componente normal a la superficie del vector \vec{A} .

Por lo tanto, de la ecuaciones (3.1) y (3.2) se tiene:

$$\int_V \vec{\nabla} \cdot \vec{I} dV = \int_s \vec{I} \cdot d\vec{s} = - \int d \left(\frac{dE}{dt} \right) = - \frac{dE}{dt} \quad (3.3)$$

$$\frac{1}{T} \int \left(\int_s \vec{I} \cdot d\vec{s} \right) dt = - \frac{1}{T} \int dE \quad (3.4)$$

$$\int_s \left(\frac{1}{T} \int \vec{I} \cdot dt \right) d\vec{s} = \int_s \vec{\bar{I}} \cdot d\vec{s} = - \frac{E}{T} = -W_s \quad (3.5)$$

Donde W_s es la potencia acústica neta generada por la fuente en su funcionamiento respecto a la superficie envolvente s . La calificación “neta” es necesaria porque puede existir dentro del volumen V mecanismos asociados a la fuente que puedan absorber o disipar parte de la potencia

Capítulo 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente.

acústica [2], [16].

Las componentes normales de las intensidades acústicas generadas por las fuentes *estacionarias* externas a la superficie s no contribuyen a la superficie *integrada*, ni tampoco a W_s , pero estas intensidades se suman vectorialmente a la intensidad local generada por la fuentes internas a la superficie envolvente, alterando así la distribución de superficie de la componente normal de la intensidad acústica. De esta forma, la integración se puede aplicar solamente en el caso que todas las fuentes, internas y externas a la superficie s , sean estables.

Por otro lado, las componentes normales de las intensidades producidas en la superficie s por reflexiones de las superficies exteriores a s de las ondas radiadas por las fuentes envueltas, en condiciones estables, no afectan al cálculo ya que no se absorben dentro de la superficie s , con lo se transmiten fuera de manera que no contribuyen con el flujo neto de potencia a través de s .

Sin embargo, si las fuentes encerradas no hacen disipar parte de esta energía reflejada, los resultados de la potencia acústica de la fuente se verían alterados.

La operación de la fuente encerrada en la superficie s puede verse influenciada por eventos que tengan lugar en sistemas externos a dicha superficie. Esta operaciones externas pueden hacer entrar en nuestro sistema energía vibracional por vía estructural, de manera que en nuestro volumen sea parcialmente disipada por mecanismos estructurales de amortiguación, o puede que parcialmente vuelva a salir por el camino estructural; por lo tanto, no está incluida, pero también puede afectar a los resultados obtenidos. Por otro lado, las estructuras mecánicas en el interior de s pueden actuar como absorbentes de potencia acústica generada por una fuente externa a s , reduciendo de ese modo la potencia aparente de la fuente.

Así, la determinación de la potencia de la fuente bajo estudio depende de la reflectividad de las fuentes del entorno, de la potencia acústica incidente sobre la superficie s y de la efectividad de los mecanismos de absorción, pudiendo llegar a constituir un serio problema la presencia de tal absorción.

3.3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido utilizando presión acústica. Normativa.

3.3.1. Norma ISO 3744

Esta Norma Internacional [35] especifica un método para medir los niveles de presión acústica en una superficie de medida que envuelve a la fuente de ruido, bajo condiciones que se aproximan a las de campo libre cerca de uno o varios planos reflectantes, con objeto de calcular el nivel de potencia acústica producido por la fuente de ruido.

En esta Norma Internacional, el cálculo del nivel de potencia acústica a partir de las medidas de nivel de presión acústica esta basado en la premisa de que la potencia acústica de salida de la fuente es directamente proporcional a la media cuadrática de la presión acústica sonora promediada sobre tiempo y espacio.

■ Definiciones

Intervalo de tiempo de medida: Porción o múltiplo de un periodo o ciclo de funcionamiento, para el que se determina el nivel de presión acústica promediado en el tiempo.

Superficie de medida: Superficie hipotética de área S que envuelve a la fuente, en la que están localizadas las posiciones de medida. La superficie de medida está limitada por uno o varios planos reflectantes.

Nivel de presión acústica superficial, $\overline{L_{ps}}$: Promedio energético de los niveles de presión acústica medios ponderados en tiempo obtenidos para el conjunto de las posiciones de micrófono sobre la superficie de medida, aplicando las correcciones de ruido de fondo K_1 y de entorno K_2 . Se expresa en decibelios.

Campo libre: Campo sonoro en un medio homogéneo, isótropo y sin límites. En la práctica, es un campo en el que las reflexiones en los límites tienen una influencia despreciable dentro del intervalo de frecuencias de interés.

Capítulo 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente.

Campo libre sobre un plano reflectante: En un medio homogéneo e isotrópico, campo sonoro que se establece en el semiespacio situado sobre una superficie plana rígida de extensión infinita sobre la que está situada la fuente.

Intervalo de frecuencias de interés: Para propósitos generales, el intervalo de frecuencias de interés incluye las bandas de octava con frecuencias centrales de 125 Hz a 10000 Hz.

Paralelepípedo de referencia: Superficie hipotética constituida por el paralelepípedo rectangular más pequeño que encierra a la fuente y limita con el plano o planos reflectantes.

Distancia de medida, d : La distancia entre el paralelepípedo de referencia y una superficie de medida paralelepípeda.

Ruido de fondo: El ruido procedente de toda fuente que no sea la fuente bajo ensayo.

Corrección por ruido de fondo, K_1 : Término de corrección que tiene en cuenta la influencia del ruido de fondo en el nivel de presión acústica superficial; K_1 depende de la frecuencia y se expresa en decibelios. La corrección en el caso de ponderaciones A, se denomina K_{1A} .

Corrección por entorno acústico de ensayo, K_2 : Término de corrección que tiene en cuenta la influencia, en el nivel de presión acústica sobre la superficie de medida, del sonido reflectado o absorbido; K_2 depende de la frecuencia y se expresa en decibelios. La corrección en caso de ponderaciones A, se denomina como K_{2A} .

Índice de impulsividad del ruido: Parámetro a través del cual el ruido emitido por la fuente, puede caracterizarse como "impulsivo". Se expresa en decibelios.

Índice de directividad, DI : Parámetro que mide la predominancia de la radiación acústica de una fuente en una dirección dada. Se expresa en decibelios.

■ Medida de los niveles de presión acústica

Para facilitar el posicionamiento de los micrófonos en la superficie de medida, debe definirse un paralelepípedo hipotético de referencia. La definición de este paralelepípedo y sus dimensiones, se realizará para envolver la fuente sonora, pudiendo desestimar elementos salientes de dicha fuente que puedan considerarse como no emisores significativos de energía sonora.

La superficie de medida será un paralelepípedo rectangular cuyas caras son paralelas a las del paralelepípedo de referencia; en este caso, la distancia de medida, d , es la distancia entre la superficie de medida y el paralelepípedo de referencia. Las posiciones de los micrófonos se encuentran sobre la superficie de medida y son mostradas en la *Figura 3.1*.

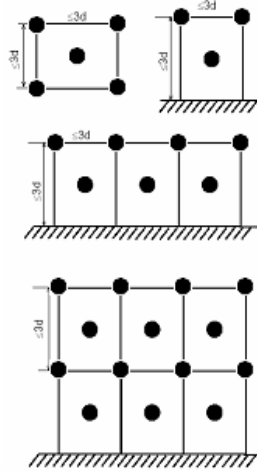


Figura 3.1: Procedimiento para las posiciones específicas de los micrófonos en la superficie de medida

El área S de la superficie de medida es dada por la formula (3.6).

$$S = 4(ab + bc + ca) \quad (3.6)$$

Donde

$$a = 0,5l_1 + d;$$

$$b = 0,5l_2 + d;$$

$$c = l_3 + d;$$

l_1 , l_2 y l_3 son la longitud, ancho y altura del paralelepípedo de referencia.

Capítulo 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente.

■ Cálculo del nivel de presión acústica superficial y el nivel de potencia acústica

Tanto para los niveles de presión acústica ponderados A, como para los niveles en las bandas del intervalo de frecuencias de interés, se calculan, el nivel de presión acústica promediado sobre la superficie de medida $\overline{L'_p}$ y, si es necesario, el correspondiente valor para el ruido de fondo $\overline{L''_p}$, a partir de los valores medidos $\overline{L'_{pi}}$, y $\overline{L''_{pi}}$, usando las siguientes ecuaciones:

$$\overline{L'_p} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1 \cdot L'_{pi}} \right] dB \quad (3.7)$$

$$\overline{L''_p} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1 \cdot L''_{pi}} \right] dB \quad (3.8)$$

Donde

$\overline{L'_p}$ es el nivel de presión acústica promediado sobre la superficie de medida, en decibelios, con la fuente bajo ensayo en funcionamiento;

$\overline{L''_p}$ es el nivel de presión acústica del ruido de fondo promediado sobre la superficie de medida, en decibelios;

$\overline{L'_{pi}}$ es el nivel de presión acústica medido en la posición i-ésima del micrófono, en decibelios;

$\overline{L''_{pi}}$ es el nivel de presión acústica del ruido de fondo medido en la posición i-ésima del micrófono, en decibelios;

N es el número de posiciones de micrófono.

■ Cálculo de los niveles de presión acústica ponderados A a partir de datos en bandas de frecuencia

Para calcular los niveles de presión acústica ponderados A a partir de bandas de frecuencia, se utiliza la siguiente ecuación:

Capítulo 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente.

$$L_{pA} = 10 \log \left[\sum_j 10^{0,1(L_{pj}+A_j)} \right] dBA \quad (3.9)$$

Donde

L_{pj} es el nivel de presión en banda j , en decibelios;

A_j es el valor de la ponderación A en banda de frecuencia central j , como es dado en la tabla 3.1.

■ Correcciones para el ruido de fondo

La corrección K_1 se calcula (para ponderación A o en bandas de frecuencia) usando la siguiente ecuación:

$$K_1 = -10 \log(1 - 10^{-0,1\Delta L}) dB \quad (3.10)$$

Donde

$$\Delta L = \overline{L'_p} - \overline{L''_p}$$

Si $\Delta L > 15 dB$, la corrección no se efectuará. Si $\Delta L \geq 6 dB$, la medida es válida de acuerdo con esta normativa internacional.

Para valores de ΔL entre 6 dB y 15 dB, se realizarán las correcciones de acuerdo con la ecuación de K_1 . Incluso si la medida es inválida para una determinada banda de frecuencia, puede todavía ser utilizable para el valor A-ponderado, a condición de que ΔL_A sea mayor que 6 dB, siendo ΔL_A la diferencia entre los valores de $\overline{L'_{pA}}$ y $\overline{L''_{pA}}$.

Si no se satisface el criterio de 6 dB, la precisión de los resultados es reducida. La corrección máxima que se puede aplicar a estas medidas es 1.3 dB. El resultado puede, sin embargo, ser útil para determinar un límite superior de la potencia acústica de la fuente bajo estudio.

**Capítulo 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido
y normativa vigente.**

| Frecuencias centrales de la banda de octava (Hz) | Frecuencias centrales de la banda de tercios de octava (Hz) | Ponderación A valores A_j (dB) |
|---|--|-------------------------------------|
| 63 | 50 | -30.2 |
| | 63 | -26.2 |
| | 80 | -22.5 |
| 125 | 100 | -19.1 |
| | 125 | -16.1 |
| | 160 | -13.4 |
| 250 | 200 | -10.9 |
| | 250 | -8.6 |
| | 315 | -6.6 |
| 500 | 400 | -4.8 |
| | 500 | -3.2 |
| | 630 | -1.9 |
| 1000 | 800 | -0.8 |
| | 1000 | 0 |
| | 1250 | 0.6 |
| 2000 | 1600 | 1.0 |
| | 2000 | 1.2 |
| | 2500 | 1.3 |
| 4000 | 3150 | 1.2 |
| | 4000 | 1.0 |
| | 5000 | 0.5 |
| 8000 | 6300 | -0.1 |
| | 8000 | -1.1 |
| | 10000 | -2.5 |

Tabla 3.1: Ponderación A, valores A_j

Capítulo 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente.

■ Correcciones para el estudio ambiental

La corrección ambiental K_2 (ponderada en A o en bandas de frecuencia) es determinada por la expresión:

$$K_2 = 10 \log \left[1 + 4 \left(\frac{S}{A} \right) \right] dB \quad (3.11)$$

Donde

A es el área equivalente de absorción de la habitación, en metros cuadrados;

S es el área de la superficie de medida, en metros cuadrados.

Para determinar las características acústicas del estudio ambiental, se obtiene K_{2A} usando un valor de A dado en metros cuadrados por la formula:

$$A = \alpha \cdot S_V \quad (3.12)$$

Donde

α es la media del coeficiente de absorción acústica;

S_V es el área total de las superficies límite de la habitación de estudio (paredes, suelo y techo), en metros cuadrados.

■ Cálculo los niveles de presión acústica de la superficie

Se determina el nivel de presión acústica de la superficie \overline{L}_{ps} corrigiendo el valor de \overline{L}_p para el ruido de fondo y para el sonido reflectado usando la siguiente ecuación con las correcciones K_1 y K_2 .

$$\overline{L}_{ps} = \overline{L}_p - K_1 - K_2 \quad (3.13)$$

Capítulo 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente.

■ Cálculo del nivel de potencia acústica

El nivel de potencia acústica, L_W , se calcula mediante la siguiente expresión:

$$L_W = \overline{L_{ps}} + 10 \log \left(\frac{S}{S_0} \right) dB \quad (3.14)$$

Donde

$\overline{L_{ps}}$ es el nivel de presión acústica superficial ponderado en A o en bandas de frecuencia, según la ecuación (3.13);

S es el área de la superficie de medida, en metros cuadrados;

$$S_0 = 1m^2$$

3.4. Determinación de los niveles de potencia acústica emitidos por las fuentes de ruido utilizando intensidad acústica. Normativa.

3.4.1. Norma ISO 9614-1

Esta parte de la Norma Internacional ISO 9614 [39] da un método para la determinación del nivel de potencia acústica de una fuente de ruido a partir de las medidas de intensidad acústica sobre una superficie que encierra totalmente la fuente. Dicho método se basa en el muestreo por puntos discretos del campo de intensidad normal a la superficie de medida. El nivel de potencia acústica en bandas de octava, tercios de octava o ponderado en frecuencia se calcula a partir de los valores medidos.

El método es aplicable a cualquier fuente para la que se pueda definir una superficie de medida físicamente estacionaria y sobre la que el ruido generado por la fuente es estacionario en el tiempo. La fuente queda definida por la selección de la superficie de medida. El método es aplicable “in situ” o en entornos de ensayo controlados.

■ Definiciones

Nivel de intensidad acústica normal, $L_{I_{ni}}$: Medida logarítmica del valor absoluto de la intensidad acústica normal I_{ni} , dado por:

$$L_{I_{ni}} = 10 \log \left[\frac{I_{ni}}{I_0} \right] \quad (3.15)$$

Donde

I_0 es la intensidad de referencia ($= 10^{-12} \text{ W/m}^2$).

Potencia acústica parcial, W_i : Medida promediada en el tiempo del flujo de energía acústica a través de un elemento (segmento) de una superficie de medida, dado por:

$$W_i = I_{ni} \cdot S_i = \left(I_0 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{I_{ni}}} \right) \cdot S_i \quad (3.16)$$

Donde

Capítulo 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente.

I_{ni} es la componente normal de la intensidad acústica medida en la posición i sobre la superficie de medida;

S_i es el área del elemento de superficie asociado con el punto i .

Potencia acústica, W : Es la potencia acústica total generada por una fuente y que es determinada usando el método dado en esta parte de la Norma ISO 9614, dada por:

$$W = \sum_{i=1}^N W_i \quad (3.17)$$

$$|W| = \left| \sum_{i=1}^N W_i \right| \quad (3.18)$$

Donde N es el número total de segmentos de la superficie de medida.

Nivel de potencia acústica, L_W : Medida logarítmica de la potencia acústica generada por una fuente, determinada usando el método dado en esta parte de la Norma ISO 9614, viene dado por:

$$L_W = 10 \log \left[\frac{|W|}{W_0} \right] \quad (3.19)$$

Donde

$|W|$ es la magnitud de la potencia acústica de la fuente;

W_0 es la potencia de referencia ($= 10^{-12} W$);

Superficie de medida: Superficie hipotética sobre la que se realizan las mediciones de intensidad y que, o bien encierra completamente la fuente de ruido bajo ensayo o, en conjunción con una superficie continua acústicamente rígida, encierra la fuente de ruido sometida a ensayo. En casos donde la superficie hipotética es penetrada por cuerpos que poseen superficies sólidas, la superficie de medida termina en las líneas de intersección entre los cuerpos y la superficie.

Segmento: Porción de superficie de medida asociada con una posición de medida.

Capítulo 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente.

Intensidad parásita: Contribución a la intensidad acústica que proviene de la operación de fuentes externas a la superficie de medida.

Sonda: Parte del sistema de medida de la intensidad que incorpora los sensores.

Índice de Presión-Intensidad residual, δ_{pIo} : La diferencia entre el L_p indicado y el L_{I_n} indicado, cuando la sonda de intensidad se coloca y se orienta en un campo sonoro tal que su intensidad acústica es cero. Se expresa en decibelios.

$$\delta_{pIo} = (L_p - L_{I_n}) \quad (3.20)$$

Índice de capacidad dinámica, L_d : Dado por:

$$L_d = \delta_{pIo} - K \quad (3.21)$$

Donde K es el factor de error de desviación, cuyo valor se selecciona de acuerdo al grado de precisión requerido. Siendo $K = 10$ dB para un grado de precisión de ingeniería (grado 2) y $K = 7$ dB para un grado de precisión de control (grado 3)

Indicador de variabilidad temporal del campo acústico, F_1 : Indicador de campo que viene dado por la expresión:

$$F_1 = \frac{1}{\bar{I}_n} \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{k=1}^M (I_{nk} - \bar{I}_n)^2} \quad (3.22)$$

Donde \bar{I}_n es el valor medio de I_n para M muestras promediadas en un tiempo corto I_{nk} , calculado a partir de la ecuación siguiente:

$$\bar{I}_n = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M I_{nk} \quad (3.23)$$

Capítulo 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente.

Indicador de Presión-Intensidad en la superficie, F_2 : Indicador de campo que viene dado por la expresión:

$$F_2 = \overline{L_{ps}} - \overline{L_{|I_n|}} \quad (3.24)$$

Donde $\overline{L_{|I_n|}}$ es el valor absoluto del nivel de intensidad acústica normal superficial calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$\overline{L_{|I_n|}} = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|I_{ni}|}{I_0} \right) dB \quad (3.25)$$

Indicador de potencia parcial negativa, F_3 : Indicador de campo que viene dado por la expresión:

$$F_3 = \overline{L_{ps}} - \overline{L_{I_n}} \quad (3.26)$$

Donde $\overline{L_{I_n}}$ es el valor algebraico del nivel de intensidad acústica normal superficial calculado a partir de la ecuación:

$$\overline{L_{I_n}} = 10 \log \left| \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{I_{ni}}{I_0} \right| dB \quad (3.27)$$

Indicador de no uniformidad de campo, F_4 : Indicador de campo que viene dado por la expresión:

$$F_4 = \frac{1}{\overline{I_n}} \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (I_{ni} - \overline{I_n})^2} \quad (3.28)$$

Donde $\overline{I_n}$ es la intensidad acústica normal calculada a partir de la ecuación:

$$\overline{I_n} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_{ni} \quad (3.29)$$

■ **Medida de los niveles de las componentes de intensidad acústica normal**

Se define una superficie inicial de medida alrededor de la fuente de ensayo y se comprueba que cumple con los criterios de los indicadores de campo. La distancia promedio entre la superficie de medida y la superficie de la fuente bajo ensayo debe ser mayor que 0.5 m.

Una vez se tiene declarada la superficie de medida, se seleccionan las posiciones de micrófono, cumpliéndose que como mínimo debe haber una posición por metro cuadrado y un mínimo de 10 posiciones distribuidas tan uniformemente como sea posible sobre la superficie de medida.

■ **Cálculo del nivel de potencia acústica**

Una vez obtenidos los valores de la componente de la intensidad acústica normal medidos en los diferentes posiciones de la superficie de medida, se calcula la potencia acústica parcial en cada banda de frecuencia, para cada segmento de la superficie de medida a partir de la ecuación (3.16).

Finalmente, el nivel de potencia acústica de la fuente de ruido en cada banda de frecuencia viene dado por la expresión (3.19).

■ **Procedimiento para conseguir un grado de precisión deseado**

En la aplicación de esta parte de la Norma ISO 9614, pueden variar ampliamente las condiciones del campo acústico en las posiciones de medida sobre la superficie de medida inicial. A fin de garantizar los límites superiores de las incertidumbres de los niveles de potencia acústica determinados, es necesario comprobar la adecuación de la instrumentación y de los parámetros de medida elegidos en relación al campo acústico/condiciones ambientales correspondientes a la medida específica en cada caso.

Para que el conjunto de posiciones de medida sea calificado como apropiado para la determinación del nivel de potencia acústica de una fuente de ruido en cada banda de frecuencia de medida, el índice de capacidad dinámica L_d de la instrumentación de medida debe ser mayor que el indicador F_2 :

Capítulo 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente.

$$L_d > F_2 \quad (3.30)$$

Por otro lado, el número N de posiciones de la sonda uniformemente distribuidas sobre una superficie de medida elegida es considerada como suficiente si se cumple:

$$N > CF_4^2 \quad (3.31)$$

Donde el factor C para el grado 1 de precisión toma un valor de 19 (para las frecuencias de 50 a 160 Hz), 29 (para las frecuencias de 200 a 630 Hz), 57 (para las frecuencias de 800 a 5000 Hz) y 19 (para las frecuencias a partir de 6300 Hz). Por otro lado, para el grado 2 de precisión toma un valor de 11 (para las frecuencias de 50 a 160 Hz), 19 (para las frecuencias de 200 a 630 Hz), 29 (para las frecuencias de 800 a 5000 Hz) y 14 (para las frecuencias a partir de 6300 Hz). Finalmente, para el grado 3 de precisión toma el valor 8 para todas las frecuencias.

Además, se debe cumplir que:

$$F_1 \leq 0,6 \quad (3.32)$$

y

$$(F_3 - F_2) \leq 3dB \quad (3.33)$$

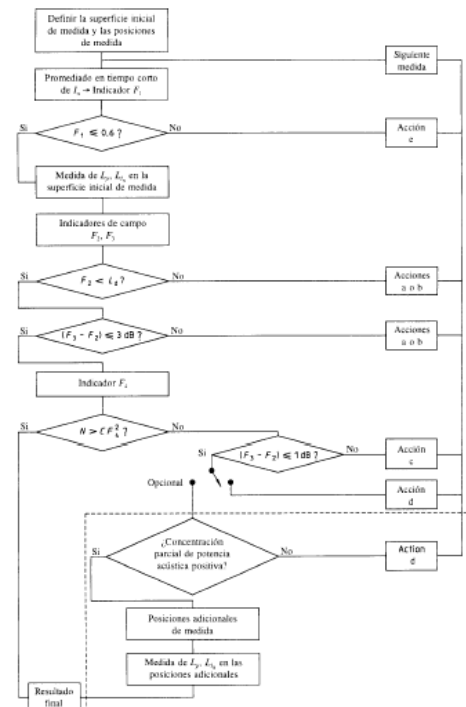
Por otro lado, como guía y ayuda para incrementar y conseguir el grado de precisión de la determinación, la norma proporciona una tabla (Tabla B.3) con acciones a tomar y un esquema con el procedimiento a seguir (Fig. B.1). Las *Figuras 3.2 y 3.3* muestran dicha tabla y esquema respectivamente.

Capítulo 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente.

Tabla B.3
Acciones a tomar para incrementar el grado de precisión de la determinación

| Criterio | Código de la acción (véase figura B.1) | Acción |
|--|--|--|
| $F_1 > 0,6$ | e | Tomar acciones para reducir la variabilidad temporal de la intensidad parásita, o medir durante periodos de menor variabilidad, o incrementar el periodo de medida de cada posición (si procede) |
| $F_2 > L_d$ o $(F_3 - F_2) > 3 \text{ dB}$ | a o b | En la presencia de ruido parásito significativo y/o fuerte reverberación, reducir la distancia promedio de la superficie de medida a la fuente a un valor promedio mínimo de 0,25 m. En ausencia de ruido parásito significativo y/o fuerte reverberación, incrementar la distancia de medida a 1 m. |
| No se satisface el criterio 2 y $1 \text{ dB} \leq (F_3 - F_2) \leq 3 \text{ dB}$ | c | Aumentar uniformemente la densidad de las posiciones de medida para satisfacer el criterio 2 |
| No se satisface el criterio 2, $(F_3 - F_2) \leq 1 \text{ dB}$ y el procedimiento del apartado 8.3.2 o bien falla, o bien no se selecciona | d | Incrementar la distancia promedio de la superficie de medida a la fuente, usando el mismo número de posiciones de medida, o incrementar el número de posiciones de medida sobre la misma superficie |

Figura 3.2: Tabla de acciones a tomar de la norma ISO 9614-1. [39]



NOTA - El proceso mostrado en línea de puntos representa un procedimiento opcional diseñado para minimizar el número de posiciones de medida adicionales requeridas sobre la superficie inicial de medida (véase apartado 8.3).

Fig. B.1 - Esquema del procedimiento a seguir para conseguir el grado de precisión deseado

Figura 3.3: Esquema del procedimiento a seguir de la norma ISO 9614-1. [39]

3.4.2. Norma ISO 9614-2

Esta parte de la Norma ISO 9614 [40] especifica métodos para la determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes, en los márgenes especificados de incertidumbre, bajo condiciones de ensayo que son menos restrictivas que las de los requisitos dados en las normas ISO 3740 a ISO 3747 ([30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37] y [38]). El nivel de potencia acústica es el nivel de potencia “in situ” tal como se determina por el procedimiento de esta parte de la Norma ISO 9614, y su incertidumbre se clasifica de acuerdo a los resultados de los ensayos complementarios y a los cálculos efectuados conjuntamente con los ensayos de medida.

Este método está basado en el muestreo del campo de intensidad normal a la superficie de medida. Para ello, se realiza una subdivisión de la superficie de medida en segmentos continuos, realizando un barrido con la sonda de intensidad sobre cada segmento a lo largo de trayectorias continuas que cubren la extensión del segmento. El instrumento de medida determina la componente normal de intensidad promediada y el cuadrado de la presión acústica promediada sobre la duración de cada barrido.

El error de muestreo resultante de las medidas es una función de la variación espacial de la componente de intensidad normal sobre la superficie de muestreo, que depende de la directividad de la fuente, de la superficie de muestreo elegida, del tipo y velocidad de barrido de la sonda, y de la proximidad de fuentes parásitas fuera de la superficie de medida. Por otro lado, la precisión de la medida de la componente normal de intensidad acústica en una posición es sensible a la diferencia entre el nivel de presión acústica local y el nivel de intensidad acústica local.

■ Definiciones

Barrido: Un movimiento continuo de una sonda de intensidad a lo largo de una trayectoria especificada en un segmento de una superficie de medida.

Densidad de la línea de barrido: Inversa de la separación promedio de líneas de barrido adyacentes.

Indicador de Presión-Intensidad en la superficie, F_{pI} : Indicador de campo que viene dado por la expresión:

Capítulo 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente.

$$F_{pI} = \overline{L_{ps}} - L_W + 10 \cdot \log \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (3.34)$$

Indicador de potencia parcial negativa, $F_{+/-}$: Indicador de campo que viene dado por la expresión:

$$F_{+/-} = 10 \log \left[\frac{\sum |W_i|}{\sum W_i} \right] \quad (3.35)$$

■ Medida de los niveles de las componentes de intensidad acústica normal

Para la realización de la medida acústica, se mueve la sonda de intensidad continuamente (barrido) a lo largo de las trayectorias definidas sobre cada segmento de la superficie de medida seleccionada. Esta operación se debe efectuar de manera que el eje de la sonda se mantenga perpendicular a la superficie de medida en todo momento y procurando que la velocidad de movimiento de la sonda sea uniforme.

Por otro lado, la trayectoria de barrido debe ser tal que proporcione una cobertura uniforme de cada segmento, así, la distancia media entre líneas adyacentes debe ser igual y no debe exceder de la distancia media del segmento a la superficie de la fuente.

Finalmente, para una correcta implementación de las medidas, el operador debe permanecer a un lado del segmento que está siendo barrido de forma que su cuerpo no interfiera con la radiación del sonido desde la fuente y además se debe asegurar que la duración del barrido sobre cada segmento no sea inferior a 20 s.

■ Cálculo del nivel de potencia acústica

Una vez realizados los barridos en los diferentes segmentos de la superficie de medida, se calcula la potencia acústica parcial en cada banda de frecuencia a partir de la ecuación (3.16).

Finalmente el nivel de potencia acústica de la fuente de ruido en cada banda de frecuencia viene dado por la expresión (3.19).

Capítulo 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente.

■ Procedimiento para conseguir un grado de precisión deseado

Al igual que la primera parte de la Norma ISO 9614, en la aplicación de esta segunda parte de la Norma pueden variar ampliamente las condiciones del campo acústico en las posiciones de medida sobre la superficie de medida inicial. A fin de garantizar los límites superiores de las incertidumbres de los niveles de potencia acústica determinados, es necesario comprobar la adecuación de la instrumentación y de los parámetros de medida elegidos en relación a las condiciones de campo acústico/entorno particulares correspondientes a la medida específica.

Para que una superficie de medida sea calificada como adecuada para la determinación del nivel de potencia acústica de una fuente de ruido en cada banda de frecuencia de medida el índice de capacidad dinámica L_d de la instrumentación de medida debe ser mayor que el indicador F_{pI} :

$$L_d > F_{pI} \quad (3.36)$$

Por otro lado, para determinaciones de grado de precisión de ingeniería (grado 2), se debe comprobar la validez de las condiciones de medida comprobando si se cumple:

$$F_{+/-} \leq 3dB \quad (3.37)$$

Además, se debe cumplir que:

$$|L_{Wi}(1) - L_{Wi}(2)| \leq s \quad (3.38)$$

Donde la desviación estándar s para el grado 2 de precisión toma un valor de 3 dB (para las frecuencias de 50 a 160 Hz), 2 dB (para las frecuencias de 200 a 315 Hz), 1.5 dB (para las frecuencias de 400 a 5000 Hz) y 2.5 dB (para las frecuencias a partir de 6300 Hz). Por otro lado, para el grado 3 de precisión toma el valor 4 dB para todas las frecuencias.

Capítulo 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente.

Al igual que la parte 1 de la norma 9614 para la medida de puntos discretos, esta parte 2 también proporciona una tabla (Tabla B.1) con acciones a tomar y un esquema con el procedimiento a seguir (Fig. B.1) como guía y ayuda para incrementar y conseguir el grado de precisión de la determinación. Las Figuras 3.4 y 3.5 muestran dicha tabla y esquema respectivamente.

Tabla B.1
Acciones a tomar para incrementar el grado de precisión de la determinación

| Criterios | Código de acción (véase figura B.1) | Acción |
|---|--|--|
| $F_{\mu} > L_4$ y $F_{+,-} > 3 \text{ dB}$ | a o b o f | Reducir a la mitad la distancia media entre la superficie de medida y la fuente a un valor no inferior al valor mínimo promedio de 100 mm y duplicar la densidad de líneas de barrido Proteger la superficie de medida de fuertes fuentes de ruido parásitas por medio de pantallas Reducir la influencia adversa del campo sonoro reverberante introduciendo una absorción adicional en el recinto de ensayo en los lugares alejados de la fuente |
| $F_{\mu} > L_4$ y $F_{+,-} \leq 3 \text{ dB}$ | a o f | Reducir a la mitad la distancia media de la superficie de medida de la fuente a un valor no inferior al valor mínimo promedio de 100 mm y duplicar la densidad de líneas de barrido Reducir la influencia adversa del campo sonoro reverberante introduciendo una absorción adicional en el recinto de ensayo en los lugares alejados de la fuente |
| $ L_{\mu}(1) - L_{\mu}(2) > s$ | c | Identificar y suprimir las causas de las variaciones temporales en condiciones de campo, y, si esto falla |
| $ L_{\mu}(1) - L_{\mu}(2) > s$ y $F_{+,-} \leq 1 \text{ dB}$ | d e | Duplicar la densidad de líneas de barrido del mismo segmento Duplicar la distancia media desde la superficie de medida a la fuente guardando la misma densidad de líneas de barrido |

Figura 3.4: Tabla de acciones a tomar de la norma ISO 9614-2. [40]

Capítulo 3. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido y normativa vigente.

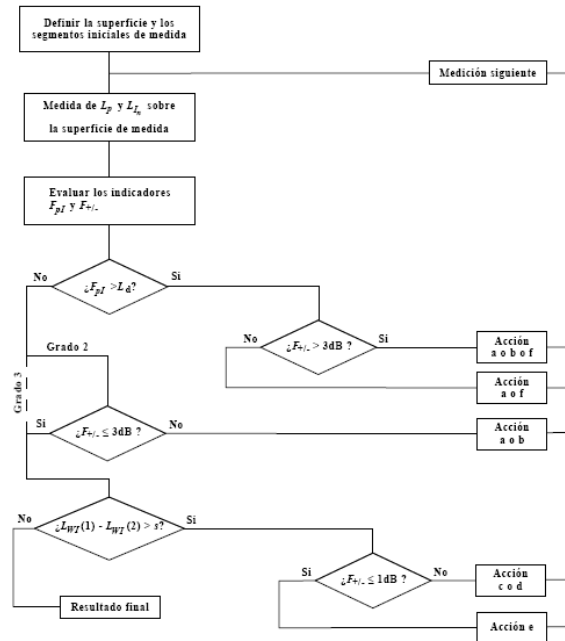


Fig. B.1 - Esquema del procedimiento de obtención del grado deseado de precisión

Figura 3.5: Esquema del procedimiento a seguir de la norma ISO 9614-2. [40]

3.4.3. Norma ISO 9614-3

Esta parte de la Norma ISO 9614 [41] es básicamente una ampliación de la segunda parte de la Norma ISO 9614 con nuevas directrices para mejorar la precisión de las medidas realizadas. En esta parte se amplían, aclaran y complementan conceptos sobre la determinación de los niveles de potencia acústica de las fuentes de ruido a partir de la medición por barrido de la intensidad acústica.

Capítulo 4

Antecedentes y equipo utilizado en los ensayos experimentales

4.1. Introducción.

La Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN) ha realizado la modelización acústica de sus instalaciones superficiales (llamadas Puntos y que se utilizan también como acceso a sus instalaciones subterráneas) donde se encuentran agrupados los edificios e instalaciones necesarios para el funcionamiento del acelerador LHC (Large Hadron Collider) (*Figura 4.1*). La realización de este trabajo se produce por la necesidad que tiene un centro de investigación tan grande como el CERN de controlar los niveles acústicos en todos los Puntos superficiales del acelerador LHC antes de su puesta en funcionamiento (*Figura 4.2*).

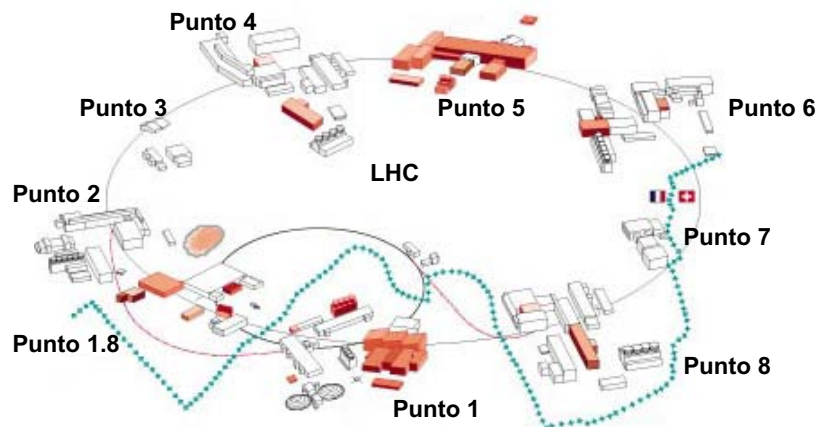


Figura 4.1: Puntos superficiales del LHC [7]



Figura 4.2: Vista aérea del CERN e indicación del recorrido del túnel del LHC [7]

Para llevar a cabo la tarea de obtener los niveles acústicos en estas zonas de estudio, se utilizó el método de cálculo (realización de modelizaciones acústicas) en lugar de realizar mediciones acústicas. La razón por la cual se efectuaron los mapas de ruido de los Puntos del LHC mediante los modelos acústicos, se debió a que se necesitaban predecir los niveles acústicos futuros ya que hasta el año 2008 no entraba en funcionamiento el LHC (*Figura 4.3*). Así, en aquellos momentos no era posible obtener los mapas de ruido globales de las zonas realizando medidas acústicas, ya que no todos los equipos se podían poner en marcha, ni mucho menos ponerlos todos en funcionamiento a la vez.

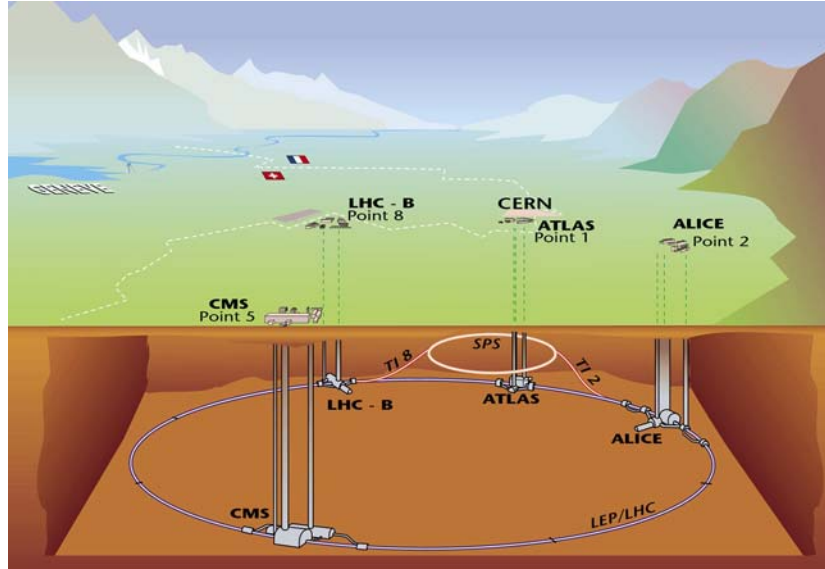


Figura 4.3: Vista global del LHC y sus detectores [7]

La modelización acústica de los diferentes Puntos del LHC se llevó a cabo utilizando el software TYMPAN 3.2. Este software acústico ha sido desarrollado por la empresa de energía de Francia (EDF) y es utilizado por el CERN gracias a un acuerdo de colaboración que existe entre ambas partes.

Una de las partes más importantes del proceso de realización del modelo acústico de los Puntos del LHC, fue la caracterización acústica de las fuentes sonoras existentes, para ello, se obtuvieron sus niveles de potencia acústica así como sus directividades.

Como se ha comentado en el capítulo anterior, para la determinación de los niveles de potencia acústica de los equipos, se pueden aplicar dos métodos: utilizando presión acústica o intensidad acústica siguiendo las directrices de las normas correspondientes [35], [37], [39], [40] y [41] pero siempre en unas condiciones controladas.

En la práctica, la mayoría de equipos y fuentes que se pretenden caracterizar acústicamente no se puede o no conviene, por el coste económico que implicaría, transportarlos a una cámara anecoica para la realización de ensayos en un entorno idóneo o pararlos para conocer la influencia

Capítulo 4. Antecedentes y equipo utilizado en los ensayos experimentales

de otras fuentes adyacentes, con lo que se tiene muchas veces este problema sin solución.

Así, en este contexto, esta tesis surgió con la intención de proporcionar un método alternativo a la normativa existente para aquellos casos no “ideales”, que en la realidad son bastante habituales, donde la aplicación de la normativa no proporcione unos resultados con unos límites aceptables de incertidumbre.

4.2. Equipos y software utilizado.

Con el propósito de caracterizar acústicamente las fuentes bajo ensayo, se llevó a cabo diferentes procesos de medidas para obtener sus niveles de potencia acústica y su directividad. Para la realización de estos ensayos, se utilizó los equipos de medida y el software disponibles en el CERN, que son descritos a continuación.

Los dos magnitudes acústicas fundamentales que se midieron fueron la presión y la intensidad. Para las medidas de presión acústica se utilizó el siguiente material:

- Un analizador portátil *B&K2260 Investigator* de dos canales en tiempo real con el software *BZ7210* (*Figura 4.4*).
- Un calibrador de nivel sonoro *B&K4231* (*Figura 4.4*).
- El software específico para el procesamiento de datos *B&K7820 Evaluator*.



Figura 4.4: Sonómetro B&K2260 y calibrador B&K4231 [3]

Capítulo 4. Antecedentes y equipo utilizado en los ensayos experimentales

Por otro lado, el equipo utilizado para realizar las medidas de intensidad acústica fue:

- Un analizador portátil *B&K2260* Investigator de dos canales en tiempo real con el software *BZ7205* (*Figura 4.5*).
- Un preamplificador doble *B&K2683* con un par de micrófonos de intensidad sonora *B&K4197* (*Figura 4.5*).
- Un calibrador de intensidad *B&K3541* (*Figura 4.5*).
- El software específico para el procesamiento de datos *B&K7815* Noise Explorer.



Figura 4.5: Sonómetro B&K2260 con la sonda de intensidad y calibrador B&K3541 [3]

Además de las medidas de intensidad y presión que se realizaron sólo con la influencia de las fuentes bajo ensayo, también se llevaron a cabo mediciones con la presencia de una segunda fuente omnidireccional externa a la superficie de medida. El equipo utilizado en estos ensayos fue:

Capítulo 4. Antecedentes y equipo utilizado en los ensayos experimentales

- Fuente sonora omnidireccional de potencia B&K 4296 OmniPower (Figura 4.6).
- Amplificador de potencia B&K 2716 para la fuente B&K 4296
- Reproductor de audio



Figura 4.6: Fuente sonora omnidireccional de potencia B&K 4296 [3]

4.3. Proceso de calibración.

Para la calibración de los equipos de medida utilizados en los ensayos experimentales, se ha utilizado un calibrador de nivel sonoro *B&K4231* y un calibrador de intensidad *B&K3541*.

Antes y después de cada campaña de medidas de presión acústica, se utilizó el calibrador *B&K4231* con un nivel de presión acústica de referencia de 94 dB en la frecuencia de 1000 Hz, con una precisión de calibración de $\pm 0,2\text{dB}$ (*Figura 4.7*). Este calibrador se basa en un sistema de realimentación para asegurar un nivel estable de presión acústica. El lazo de realimentación utiliza un micrófono de condensación que está optimizado para tener una alta estabilidad e independencia de variaciones en presión estática y temperatura alrededor de la frecuencia de calibración.



Figura 4.7: Calibración del sonómetro [3]

Por otro lado, se utilizó el calibrador de intensidad acústica *B&K3541*. Este calibrador permite calibrar los niveles de intensidad y verificar el nivel de velocidad en los instrumentos para la medida de intensidad acústica, ya que estos instrumentos no podrían ser considerados completamente verificados si sólo se calibrasen las sensibilidades de presión acústica de los canales individuales de los micrófonos.

El elemento utilizado para realizar la calibración, se denomina *acoplador* de intensidad (*Figura 4.8*). Este dispositivo especialmente diseñado para este propósito, consiste en dos cámaras conectadas por un elemento de unión. Así, cuando el pistófono se adapta al acoplador, se tiene una fase diferente entre las presiones acústicas de la cámara superior y la inferior.

Capítulo 4. Antecedentes y equipo utilizado en los ensayos experimentales

La amplitud de la presión acústica en ambas cámaras es la misma, con lo que se simula una onda sonora plana propagándose en un campo libre. De esta forma, si uno de los micrófonos es posicionado en la cámara superior y el otro en la cámara inferior, entonces la onda sonora simulada puede ser utilizada para calibrar la sensibilidad del instrumento para la medición de los niveles de intensidad y de velocidad.

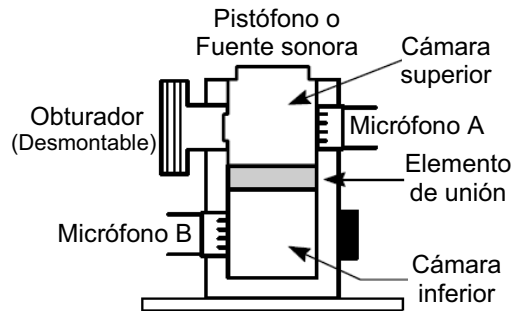


Figura 4.8: Sección del acoplador de intensidad [3]

El *acoplador* y el pistófono también pueden ser utilizados para calibrar la sensibilidad de la presión acústica. Para ello, los dos micrófonos son posicionados en la cámara superior. Así, los dos están expuestos a la misma presión acústica (en amplitud y en fase).

Con la utilización de un diagrama de calibración se declaran los niveles que deberían ser detectados durante la calibración. El diagrama también proporciona información sobre correcciones en los niveles de calibración a utilizar cuando las condiciones son diferentes a las condiciones de referencia establecidas. Así, utilizando un barómetro corrector se pueden determinar los términos de corrección para una calibración de los niveles de presión y velocidad con cambios en la presión atmosférica. Por otro lado, la calibración del nivel de intensidad acústica es independiente de cualquier cambio en la presión atmosférica.

El procedimiento de calibración del instrumento de medida de intensidad y sus micrófonos se compone de tres partes [18], [51], [53]:

- La calibración de la presión acústica en cada canal individual de los micrófonos

Para la calibración de la presión acústica, se coloca el pistófono en la parte superior

Capítulo 4. Antecedentes y equipo utilizado en los ensayos experimentales

del *acoplador*, y los dos micrófonos se posicionan en la cámara superior. Con esta configuración, el pistófono produce el mismo nivel de presión acústica en cada micrófono. De esta forma, ambos canales de los micrófonos están calibrados con el mismo nivel de presión acústica conocido (*Figura 4.9*).



Figura 4.9: Calibración de la presión acústica [3]

- La calibración de la intensidad acústica y la verificación de la velocidad de la partícula

Para la obtención del nivel de intensidad acústica medido, la señal de la velocidad de la partícula es obtenida integrando, con respecto al tiempo, la diferencia instantánea en presión acústica entre los dos micrófonos.

Para comenzar la calibración, se coloca el pistófono en la parte superior del *acoplador*, y los micrófonos se sitúan uno en la cámara superior y el otro en la inferior. De esta forma, el *acoplador* produce un cambio de fase entre las presiones acústicas de los dos micrófonos, correspondiendo a un espaciado nominal de 50 mm sin reflexiones. El cambio de fase entre las presiones acústicas simula los niveles de intensidad acústica y de velocidad de la partícula, así que la señal de diferencia de presión para el integrador no es cero. Si esto es así, queda confirmado el correcto funcionamiento del instrumento (*Figura 4.10*).



Figura 4.10: Calibración de la intensidad acústica y de la velocidad de la partícula [3]

- La medición del *Índice de Presión-Intensidad Residual* del sistema

Hay que señalar que pequeñas diferencias de fase en los micrófonos y en los canales de entrada producen la detección de la *intensidad residual*. Esta intensidad es un parámetro importante que debe considerarse cuando se procede a la interpretación de los datos de intensidad medidos. El espectro de la intensidad residual no tiene un patrón fijo y se ve influido, con subidas y bajadas, por la medida del nivel de presión acústica.

Así, colocando en la parte superior del *acoplador* una fuente sonora que produzca un ruido rosa y posicionando los dos micrófonos en la cámara inferior, el espectro de presión acústica medido en el *acoplador* es constante para todo el rango de frecuencias. Ambos micrófonos están expuestos a la misma presión acústica, de esta forma, cualquier intensidad detectada en ese momento es intensidad residual (*Figura 4.11*).



Figura 4.11: Medición del Índice de Presión-Intensidad Residual del sistema [3]

Por tanto, se tiene que para un sistema de medida y una frecuencia dada, la diferencia entre el nivel de presión acústica medido y el nivel de intensidad residual detectado será una constante. Esta diferencia constante recibe el nombre de *Índice de Presión-Intensidad Residual*. Así, con la configuración del *acoplador* explicada anteriormente, se puede medir este índice restando el espectro de intensidad detectada del espectro de presión acústica.

Como ya se vio en el *capítulo 3*, para realizar una valoración del grado de precisión de la medida realizada, se define el índice de capacidad dinámica (ecuación (3.21)) donde el valor del factor de error de desviación, K , se selecciona de acuerdo al grado de precisión requerido.

En nuestro caso, para la realización de esta tesis, el valor de K seleccionado para valorar todas las medidas de intensidad acústica realizadas es $K = 10$, que corresponde con un grado 1 de precisión. Así, la *Figura 4.12* muestra que el índice de capacidad dinámica del equipo obtenido de la calibración para un factor de error de desviación $K = 10$ dB (*línea azul*), cumple con los requisitos mínimos exigidos por la norma IEC 61043 [29] para el caso de un instrumento de clase 1 con una distancia entre micrófonos de 50 mm, que es la distancia existente en el *acoplador* al realizar el proceso de calibración (*línea rosa*). Para completar la información, la *Tabla 4.1* muestra sus valores numéricos.

Capítulo 4. Antecedentes y equipo utilizado en los ensayos experimentales

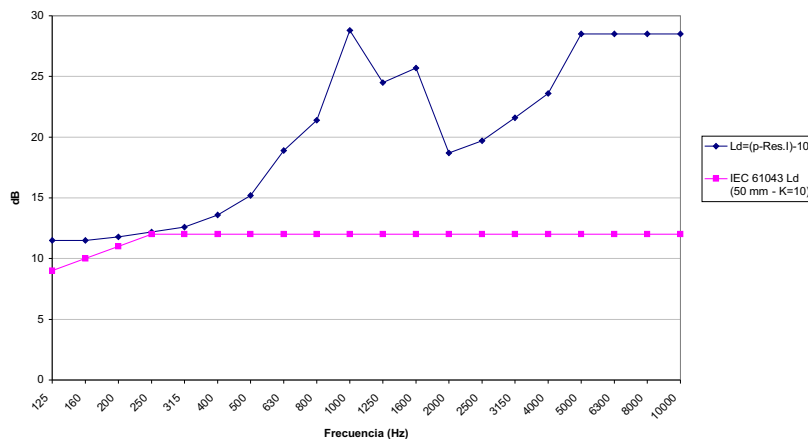


Figura 4.12: Índices de capacidad dinámica, L_d , obtenidos de la calibración y valores de L_d mínimos dados por la norma IEC 61043 [29] para $K = 10$ y una separación de 50 mm entre micrófonos. Frecuencias de 125 a 10000 Hz

| Hz | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| L_d | 11.5 | 11.5 | 11.8 | 12.2 | 12.6 | 13.6 | 15.2 | 18.9 | 21.4 | 28.8 |
| L_d Mínimos | 9.0 | 10.0 | 11.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 |

| Hz | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| L_d | 24.5 | 25.7 | 18.7 | 19.7 | 21.6 | 23.6 | 28.5 | 28.5 | 28.5 | 28.5 |
| L_d Mínimos | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 |

Tabla 4.1: Valores numéricos del Índice de capacidad dinámica, L_d , y de los L_d mínimos dados por la norma IEC 61043 [29] para $K = 10$ y una separación de 50 mm entre micrófonos. Frecuencias de 125 a 10000 Hz

Comentar también, que una vez efectuada la calibración de la sonda de intensidad, las medidas de intensidad acústica que se necesitaban para realizar la tesis, se llevaron a cabo en un periodo de tiempo pequeño (una semana).

En estas sesiones de medidas de intensidad acústica, antes de comenzar, se realizaron comprobaciones “in situ” del nivel de presión acústica, utilizando el calibrador de presión,

Capítulo 4. Antecedentes y equipo utilizado en los ensayos experimentales

y de la intensidad, realizando dos medidas de intensidad en el mismo punto de la superficie de medida pero con orientación opuesta y verificando que la diferencia de niveles era menor de $1,5\text{ dB}$, tal y como indican las normas ISO 9614-1 [39] e ISO 9614-2 [40] en sus apartados 6,2.

Así, al comprobar que en este periodo de medidas la instrumentación funcionaba correctamente siempre, sólo se realizó una calibración de la sonda de intensidad. De esta forma, la curva con los índices de capacidad dinámica para las diferentes mediciones de intensidad acústica que se irán plasmando en el desarrollo de esta tesis, será la misma que la mostrada en la figura *Figura 4.12* pero desplazada un determinado factor en todas la frecuencias, ya que en el proceso de calibración, con la utilización del acoplador, se tiene una separación entre los micrófonos de 50 mm , mientras que en las medidas de intensidad se utilizará un espaciador de 12 mm .

Capítulo 5

Elección de la fuente de ruido y procedimiento de medida

5.1. Fuentes sonoras caracterizadas en el CERN.

Como ya se comentó en el capítulo anterior, en la realización del proyecto acústico de modelización de los diferentes Puntos del acelerador LHC del CERN se caracterizaron un gran número de fuentes sonoras para obtener sus niveles de potencia acústica, para introducirlos en el software de predicción y conseguir así los mapas de ruido, lo más exactos posibles, con los niveles acústicos futuros en las zonas colindantes a dichos Puntos.

La naturaleza de las fuentes existentes en estos Puntos es muy variada, con lo que se obtuvieron los niveles de potencia acústica de: transformadores eléctricos, motores eléctricos, bombas centrífugas, sistemas de bombeo, compresores, sistemas de ventilación y refrigeración, torres de refrigeración, sistemas de criogenia, conductos de fluidos, chimeneas de escape, etc. (*Figura 5.1*).



Figura 5.1: Diferentes fuentes sonoras modelizadas de los Puntos del LHC

A la mayoría de las fuentes sonoras caracterizadas, que se encontraban en un entorno propicio para la aplicación de las normativas [35], [37], [39], [40] y [41], se les aplicó el método de medidas de presión para la obtención de los niveles de potencia acústica por ser más rápido y sencillo en su ejecución que el método de medidas de intensidad acústica.

Así, a modo de ejemplo, en el apartado siguiente se detalla un caso práctico de aplicación de la normativa [35] para la obtención de los niveles de potencia acústica de una fuente sonora (en este caso, un motor eléctrico) de uno de los Puntos del LHC.

5.1.1. Ejemplo de aplicación de la normativa ISO 3744.

El equipo seleccionado como ejemplo para plasmar el proceso de cálculo del nivel de potencia acústica a partir de las medidas de nivel de presión sonora, es un motor eléctrico del Punto

2 del LHC que se encuentra en el interior de una estructura de chapa metálica para resguardarlo.

Para comenzar con el proceso de determinación de los niveles de potencia acústica, se define en primer lugar un paralelepípedo de referencia de longitud l_1 , anchura l_2 y altura l_3 que delimite las dimensiones de la fuente, coincidiendo en este caso con las dimensiones de la estructura envolvente del motor eléctrico (*Figura 5.2*).

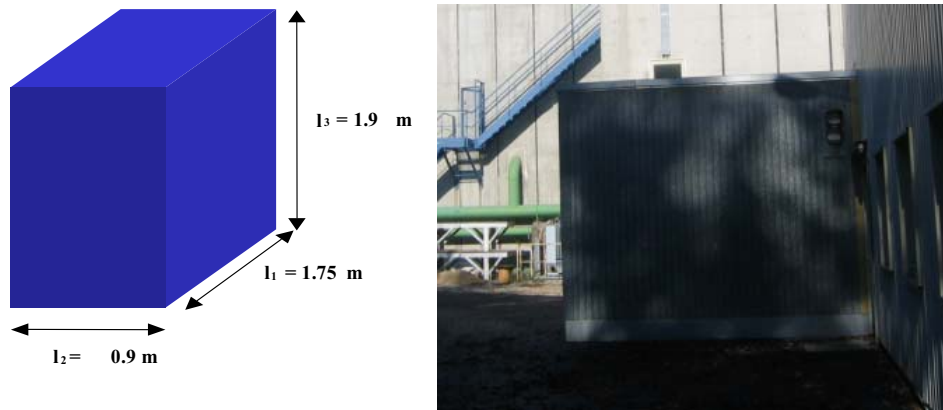


Figura 5.2: Paralelepípedo de referencia y vista lateral de la fuente ejemplo

La definición de este paralelepípedo de referencia facilita la localización de las posiciones de los micrófonos en la superficie de medida, siendo esta un paralelepípedo rectangular cuyas caras son paralelas a las del paralelepípedo de referencia. La distancia de medida, d , es la distancia entre la superficie de medida y el paralelepípedo de referencia y las posiciones de los micrófonos se encuentran sobre la superficie de medida (*Figura 5.3*).

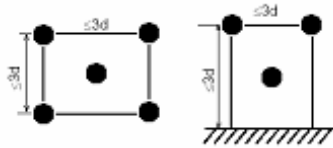


Figura 5.3: Posiciones de los micrófonos en la superficie de medida.

En este caso, el equipo se encuentra colocado sobre el suelo y contra una pared con lo que se tienen seis posiciones de micrófono (*Figura 5.4*).

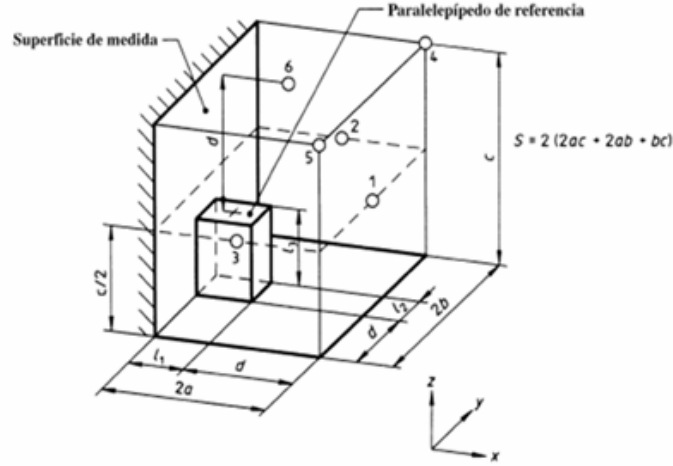


Figura 5.4: Superficie de medida y posiciones de los micrófonos para equipos colocados sobre el suelo y contra una pared

Para obtener el área de la superficie de medida, se aplica la expresión (5.1).

$$S = 2(2 \cdot ac + 2 \cdot ab + bc) \quad (5.1)$$

Donde:

$$a = 0,5 \cdot l_1 + 0,5 \cdot d \quad (5.2)$$

$$b = 0,5 \cdot l_2 + d \quad (5.3)$$

$$c = l_3 + d \quad (5.4)$$

Siendo $d = 1m$, se tiene:

$$S = 2(2 \cdot 1,375 \cdot 2,9 + 2 \cdot 1,375 \cdot 1,45 + 1,45 \cdot 2,9) = 32,33m^2 \quad (5.5)$$

Una vez seleccionada la superficie de medida quedan definidas las mediciones a realizar y las posiciones de los micrófonos. Así, se realizaron 6 medidas de los niveles de presión acústica de este motor eléctrico, distribuidas por las diferentes caras de la superficie de medida. Los espectros de frecuencias de los niveles de presión acústica medidos son mostrados en la *Tabla*

Capítulo 5. Elección de la fuente de ruido y procedimiento de medida

5.1, así como el nivel promedio de presión acústica sobre la superficie de medida, $\overline{L'_p}$, obtenido a partir de las medidas realizadas usando la ecuación (3.7), siendo para este caso $N = 6$.

| Hz | Lp1 (dB) | Lp2 (dB) | Lp3 (dB) | Lp4 (dB) | Lp5 (dB) | Lp6 (dB) | $\overline{L'_p}$ (dB) |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------------|
| 125 | 57.8 | 59.9 | 56.9 | 60.3 | 59.7 | 60.1 | 59.3 |
| 160 | 64.3 | 63.4 | 62.6 | 67.7 | 58.8 | 64.2 | 64.3 |
| 200 | 56.8 | 59.6 | 56.2 | 59.1 | 57.0 | 59.6 | 58.3 |
| 250 | 54.3 | 55.6 | 52.8 | 53.3 | 51.6 | 58.8 | 55.1 |
| 315 | 69.5 | 59.6 | 65.7 | 60.7 | 59.9 | 61.4 | 64.5 |
| 400 | 65.3 | 59.4 | 62.5 | 55.7 | 55.2 | 55.9 | 60.8 |
| 500 | 57.7 | 57.1 | 57.9 | 49.0 | 48.6 | 53.9 | 55.5 |
| 630 | 59.1 | 60.5 | 58.9 | 50.9 | 47.9 | 52.7 | 57.1 |
| 800 | 57.2 | 59.9 | 56.5 | 49.2 | 48.6 | 50.3 | 55.6 |
| 1000 | 63.6 | 60.8 | 57.8 | 50.0 | 50.6 | 50.1 | 58.7 |
| 1250 | 58.1 | 56.9 | 57.2 | 46.6 | 49.7 | 49.6 | 55.0 |
| 1600 | 59.1 | 59.4 | 59.5 | 47.9 | 48.1 | 49.1 | 56.7 |
| 2000 | 55.1 | 54.7 | 55.3 | 44.5 | 44.4 | 48.4 | 52.6 |
| 2500 | 52.5 | 51.7 | 52.9 | 40.7 | 42.7 | 45.8 | 49.9 |
| 3150 | 50.4 | 50.4 | 50.8 | 38.6 | 40.2 | 43.0 | 48.0 |
| 4000 | 49.7 | 49.1 | 49.4 | 37.2 | 39.8 | 41.9 | 46.9 |
| 5000 | 50.1 | 49.7 | 49.8 | 35.2 | 38.7 | 40.7 | 47.2 |
| 6300 | 49.5 | 49.2 | 48.9 | 33.8 | 37.3 | 36.6 | 46.4 |
| 8000 | 47.5 | 47.0 | 47.3 | 32.0 | 34.8 | 35.7 | 44.5 |
| 10000 | 45.4 | 44.2 | 45.9 | 30.3 | 31.6 | 32.2 | 42.4 |
| L | 73.6 | 70.9 | 71.2 | 70.0 | 66.3 | 69.1 | 70.7 |

Tabla 5.1: Niveles de presión acústica en las caras de la superficie de medida del motor eléctrico

A continuación, se determina el nivel de presión acústica $\overline{L_{ps}}$ que corrige el valor de $\overline{L'_p}$ para el ruido de fondo y para el sonido reflectado usando la ecuación (3.13), con las correcciones K_1 (por ruido de fondo) y K_2 (por entorno acústico de ensayo). En este caso, los valores de K_1 y K_2 son 0 porque la diferencia entre $\overline{L'_p}$ y el nivel de fondo es mayor de $15dB$ y las medidas fueron realizadas en un espacio exterior, con lo que se verifica que $\overline{L_{ps}} = \overline{L'_p}$.

Finalmente, se calcula el nivel de potencia acústica, L_W , usando la ecuación (3.14), donde $S = 32,33m^2$ y $S_0 = 1m^2$. Los resultados son mostrados en la *Tabla 5.2* y en la *Figura 5.5*.

Capítulo 5. Elección de la fuente de ruido y procedimiento de medida

| Hz | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| LW (dB) | 74.4 | 79.4 | 73.4 | 70.2 | 79.6 | 75.9 | 70.6 | 72.2 | 70.7 | 73.8 | 70.1 |

| Hz | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 | L |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| LW (dB) | 71.7 | 67.7 | 65.0 | 63.1 | 62.0 | 62.3 | 61.5 | 59.6 | 57.5 | 85.8 |

Tabla 5.2: Niveles de potencia acústica del motor eléctrico para las frecuencias de 125 a 10000 Hz

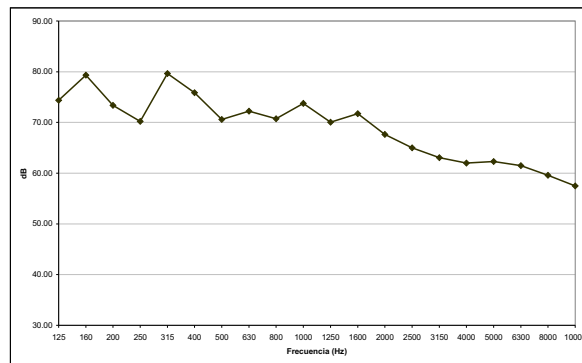


Figura 5.5: Niveles de potencia acústica del motor eléctrico. Frecuencias de 125 a 10000 Hz

Una vez obtenido el espectro en frecuencias del nivel de potencia acústica de la máquina, se introduce en el software TYMPAN 3.2 para que simule su emisión sonora, con lo que se obtiene su implementación acústica. Repitiendo este proceso para todas las fuentes a considerar en el modelo, se consigue su caracterización acústica para obtener finalmente el mapa sonoro de las zonas de estudio.

5.1.2. Niveles de potencia acústica de las fuentes más significativas de los Puntos del LHC

Para la elección de la fuente sonora bajo ensayo, se buscó entre las fuentes más significativas de los Puntos del LHC en cuanto a su impacto ambiental. Entre estas, se debía escoger aquella, que por sus condiciones particulares, el método de obtención de la potencia acústica por medidas de presión no fuese adecuado.

Capítulo 5. Elección de la fuente de ruido y procedimiento de medida

En este apartado se detallan la 10 fuentes más significativas de los Puntos del LHC que se modelizaron para la obtención de los diferentes mapas de ruido de los Puntos del LHC, para que de esta forma, quede constancia de que antes de seleccionar la fuente elegida, se estudiaron bastantes más posibilidades que finalmente fueron desechadas.

Las *Figuras 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 y 5.13* muestran los espectros en frecuencias de los niveles de potencia acústica de las 10 fuentes más significativas, desde el punto de vista acústico por tener una mayor influencia en los modelos obtenidos, de los Puntos 1 & 1.8, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 del LHC respectivamente.

Como complemento a la representación gráfica de los espectros en frecuencias de los niveles de potencia acústica de las 10 fuentes más significativas de los Puntos del LHC que se ha realizado en este apartado, en el *Anexo A* se aportan sus tablas numéricas.

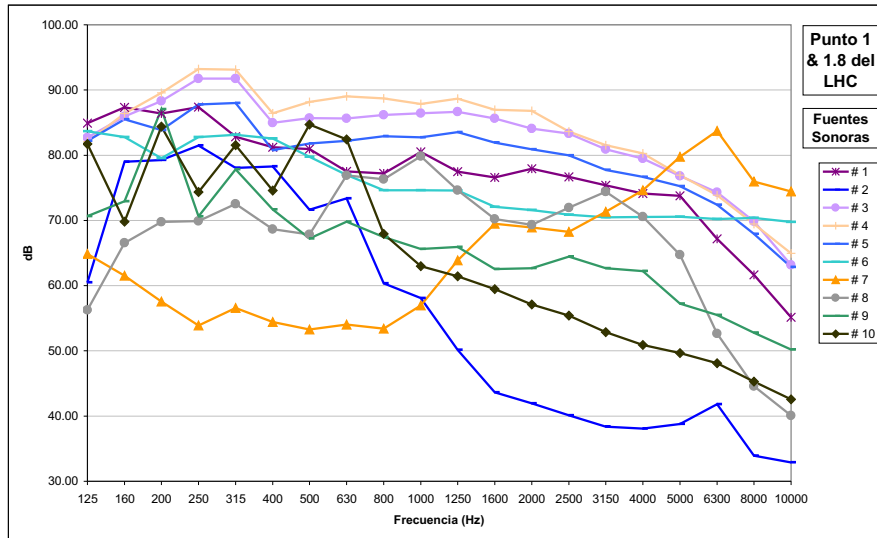


Figura 5.6: Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas del Punto 1 & 1.8 del LHC.
Frecuencias de 125 a 10000 Hz

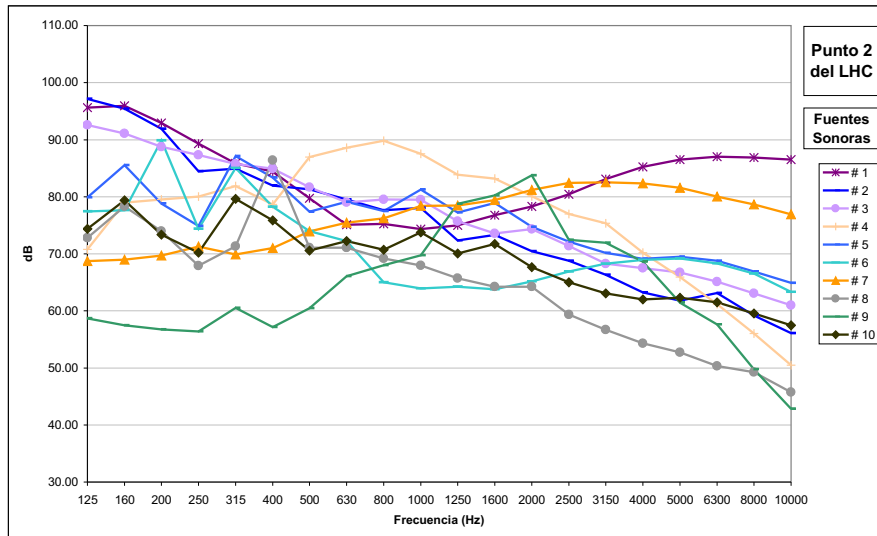


Figura 5.7: Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas del Punto 2 del LHC.
Frecuencias de 125 a 10000 Hz

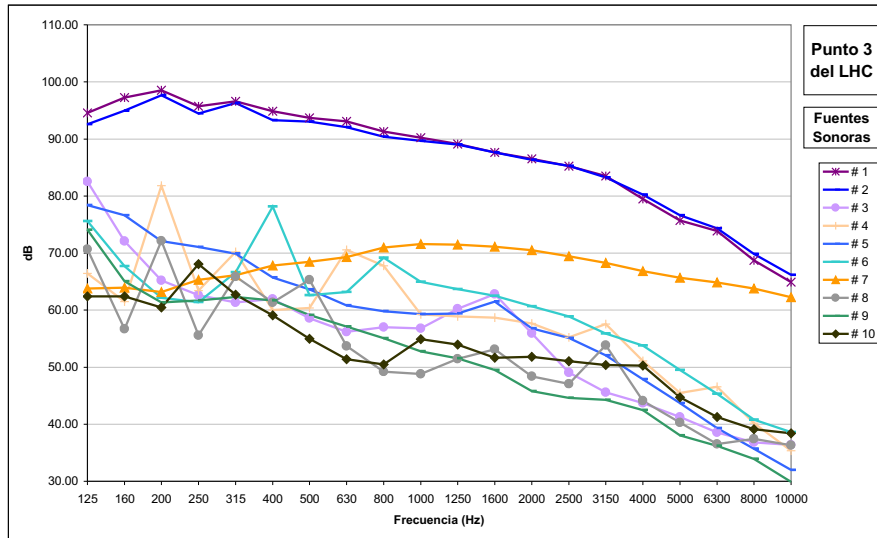


Figura 5.8: Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas del Punto 3 del LHC.
Frecuencias de 125 a 10000 Hz

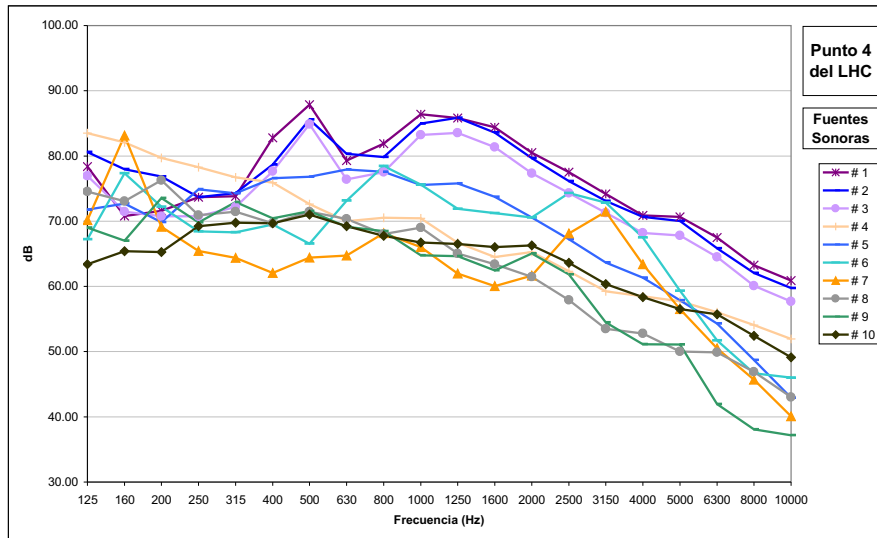


Figura 5.9: Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas del Punto 4 del LHC.
Frecuencias de 125 a 10000 Hz

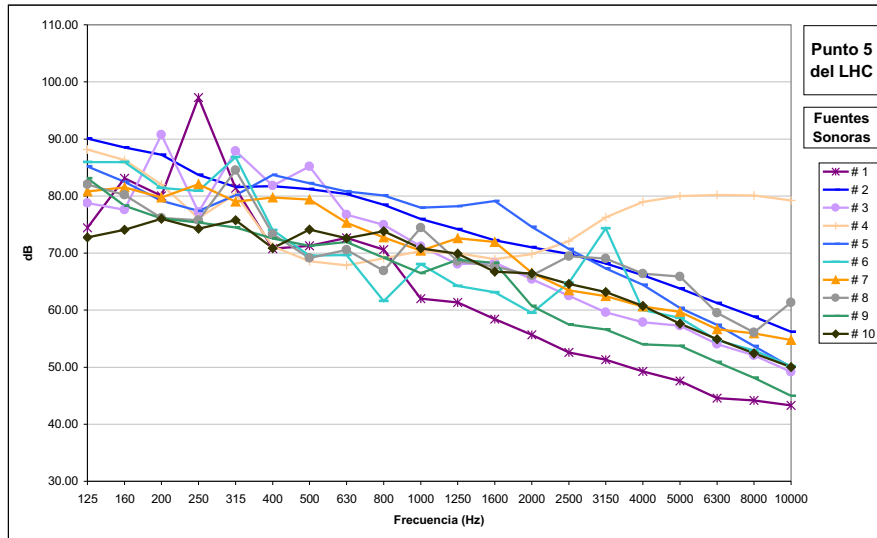


Figura 5.10: Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas del Punto 5 del LHC.
Frecuencias de 125 a 10000 Hz

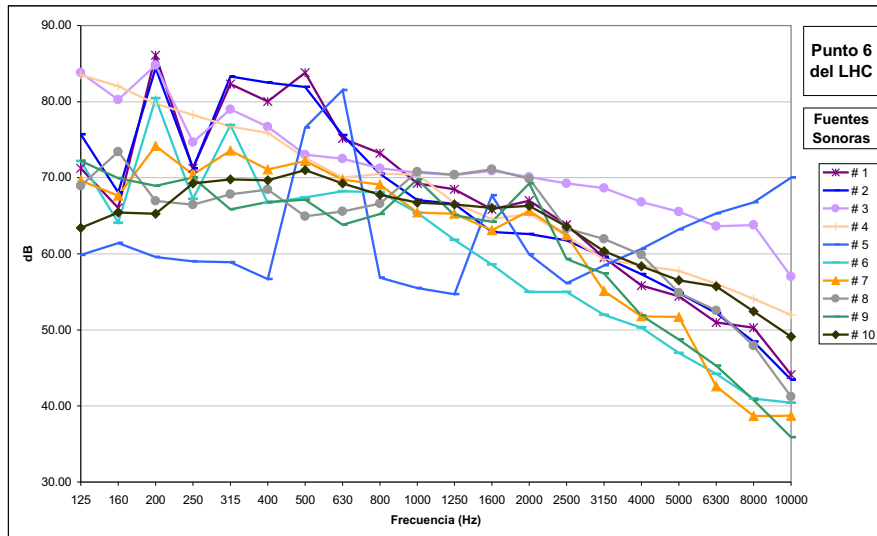


Figura 5.11: Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas del Punto 6 del LHC.
Frecuencias de 125 a 10000 Hz

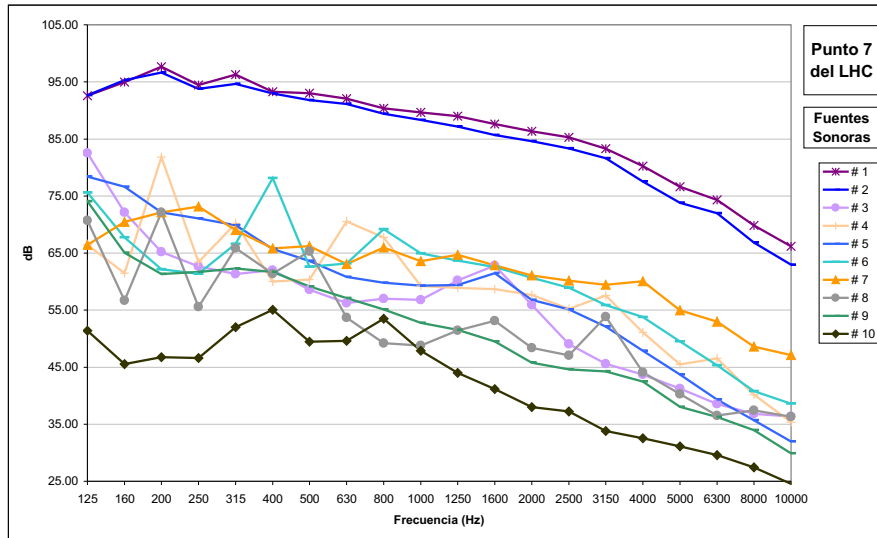


Figura 5.12: Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas del Punto 7 del LHC. Frecuencias de 125 a 10000 Hz. Nota: En esta gráfica no se ha incluido la fuente sonora bajo estudio, pero es la tercera fuente en relevancia por su impacto acústico

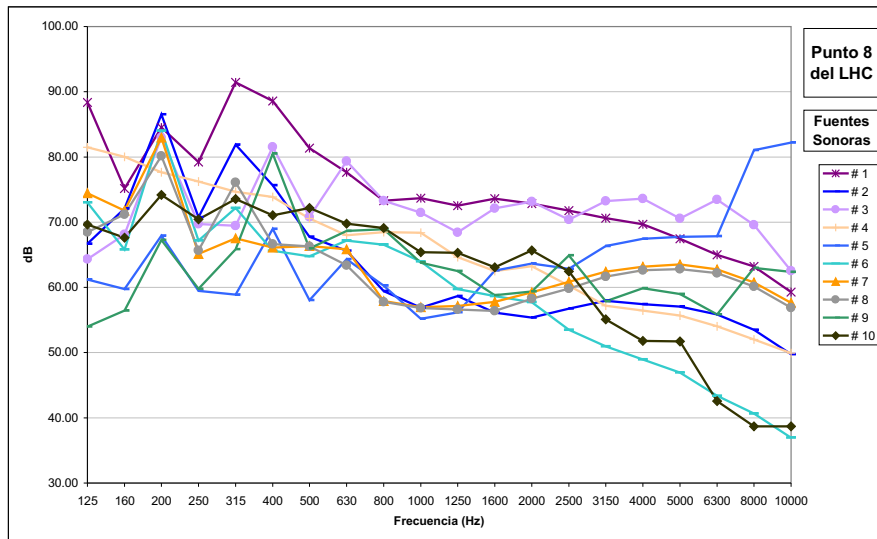


Figura 5.13: Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas del Punto 8 del LHC. Frecuencias de 125 a 10000 Hz

5.2. Descripción de la fuente seleccionada y de su entorno de medida.

Una vez visto las diferentes fuentes sonoras que en su momento se evaluaron para el estudio y desarrollo del método alternativo, finalmente, la fuente seleccionada para su caracterización acústica, fue un equipo medio ambiental que se encarga de la toma de muestras de aerosol atmosférico, para lo cual, dispone de una bomba de muestreo que es su principal foco acústico (*Figura 5.14*). Esta fuente sonora no se ha representado en la *Figura 5.12*, pero sería la tercera fuente en importancia relativa respecto a su impacto ambiental en el Punto 7.

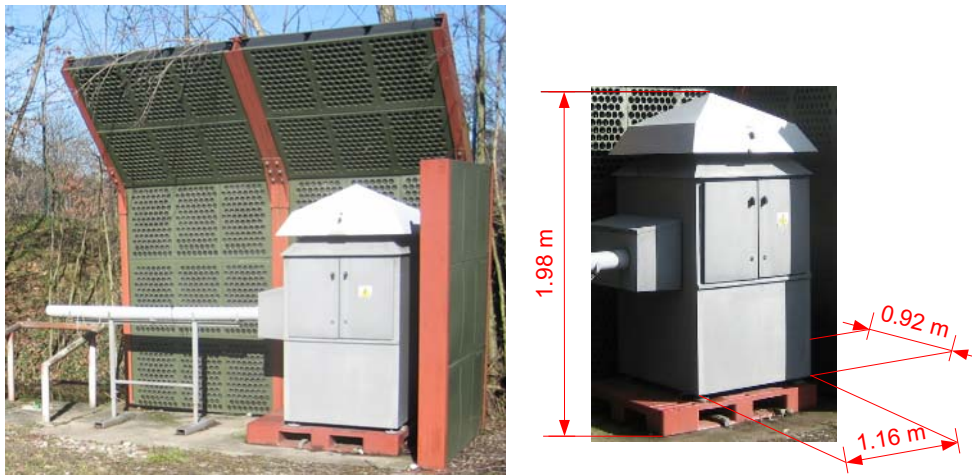


Figura 5.14: Muestreador de aerosol atmosférico ($600 \text{ m}^3/\text{h}$) y sus dimensiones

Esta fuente sonora se encuentra ubicada en una de zonas con diferentes equipos e instalaciones que dispone el CERN (el Punto 7 del LHC). En la *Figura 5.15* se muestra la localización de la fuente bajo ensayo respecto a los edificios 2755, 2758, 2760, 2775, 2780 y 3764. El edificio 2760 es el más cercano a la fuente sonora a una distancia de unos 7.5 m, con lo que se puede considerar que no tiene influencia en los procesos de reflexión de la onda sonora.

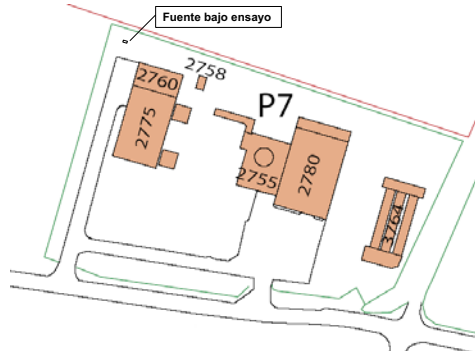


Figura 5.15: Ubicación de la fuente bajo ensayo en el Punto 7 del LHC

El equipo se encuentra en el exterior (campo libre) aunque su especial peculiaridad, por eso es la fuente sonora elegida para este estudio, es la de tener un tratamiento acústico aplicado, que consiste en dos paredes de paneles absorbentes situadas a dos de sus lados (Figura 5.16).

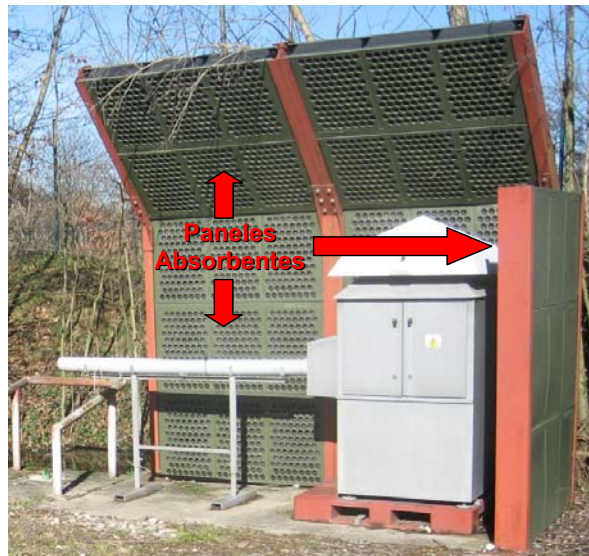


Figura 5.16: Paneles absorbentes a los lados de la fuente bajo ensayo

Otro punto a considerar en la fuente sonora bajo estudio, es que debido al tratamiento dado a las fuentes sonoras en el estudio acústico realizado en el CERN, con la modelización

acústica en el software TYMPAN 3.2, para la obtención de los niveles de potencia acústica interesa definir esta fuente sonora incluyendo tanto el equipo medioambiental como los paneles absorbentes cercanos (*Figura 5.17*).

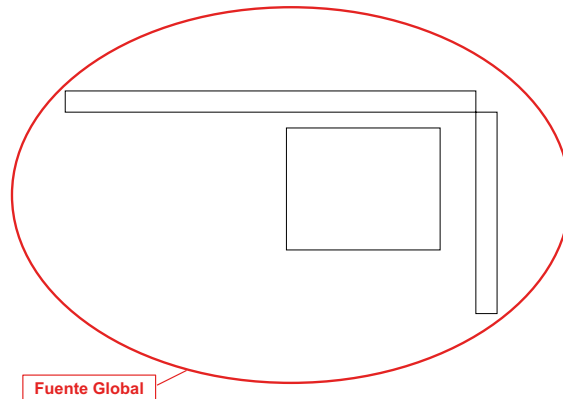


Figura 5.17: Fuente sonora considerada en el estudio

Por otro lado, otra circunstancia a tener en cuenta en el estudio acústico a realizar, es que debido a las características de los paneles absorbentes y a su ubicación, ya que se trata de una solución acústica para proteger una determinada dirección de propagación, se tienen zonas alrededor de la fuente sonora donde sus niveles sonoros serán despreciables respecto a otras zonas de emisión directa.

Así, para intentar simplificar el problema y centrar el estudio en aquellas zonas de propagación más relevantes, se realizaron medidas en la parte trasera, $M1$, y en la parte derecha, $M2$, de los paneles para verificar sus niveles acústicos y evaluar así que zonas son las interesantes para realizar el estudio de directividad y así disminuir el número de medidas innecesarias (*Figura 5.18*).

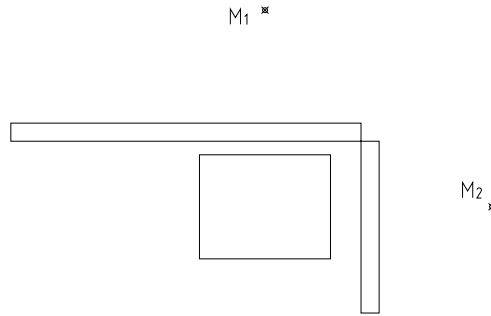


Figura 5.18: Medidas de comprobación los niveles sonoros en zonas adyacentes a la fuente

Después de la realización de estas medidas, se comprobó como en la parte trasera del equipo medioambiental, los niveles acústicos obtenidos eran despreciables, diferencias entre 25-30 dB, con respecto a los de la emisión directa de la parte delantera, hecho que era de esperar porque el tratamiento acústico del equipo medioambiental fue diseñado para disminuir los niveles acústicos de la fuente sonora en esa dirección.

Por contra, los niveles sonoros obtenidos en la parte derecha del equipo medioambiental no pueden ser considerados como despreciables, diferencias de unos 10-15 dB, con lo que esa zona de propagación también se considerará en el estudio de la directividad.

Los niveles de intensidad acústica obtenidos en los puntos M_1 y M_2 se muestran en la *Tabla 5.3*.

| Hz | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| M_1 LI(dB) | 22.8 | 25.2 | 33.3 | 40.4 | 28.8 | 38.9 | 24.3 | 29.3 | 26.6 | 19.2 | 16.5 |
| M_2 LI(dB) | 42.2 | 48.2 | 51.1 | 48.2 | 46.0 | 46.1 | 42.2 | 47.6 | 36.9 | 36.0 | 36.3 |

| Hz | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 | L |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| M_1 LI(dB) | 14.2 | 19.5 | 24.3 | 20.2 | 18.3 | 20.1 | 19.4 | 17.5 | 13.6 | 43.9 |
| M_2 LI(dB) | 33.8 | 32.5 | 33.7 | 31.4 | 30.8 | 30.0 | 28.4 | 26.7 | 23.3 | 56.6 |

Tabla 5.3: Niveles de intensidad acústica en los Puntos M_1 y M_2

Capítulo 5. Elección de la fuente de ruido y procedimiento de medida

Finalmente, comentar que respecto a los efectos medioambientales en las medidas acústicas realizadas, se procuró que las condiciones en el momento de realizar las medidas fuesen las mejores para evitar efectos significativos. Así, las campañas de medidas se realizaron en condiciones de ausencia de viento o despreciable, con cielos despejados o casi despejados, sin lluvia o nieve, con temperaturas entre 10 y 20 °C, presiones barométricas entre 1005 y 1020 hPa y humedades relativas entre 70 y 85 %.

5.3. Medidas de presión acústica sobre la fuente bajo ensayo.

Como parte del estudio de la fuente bajo ensayo, en primer lugar se planteó la realización de medidas de presión acústica siguiendo la normativa ISO 3744 como se había realizado para la caracterización acústica de la mayor parte de las fuentes sonoras de los Puntos del LHC.

Para comenzar con la determinación de los niveles de potencia acústica de la fuente sonora, en primer lugar se debe definir la superficie de referencia que acote los límites físicos de la fuente. Como ya se ha comentado anteriormente, se ha considerado la fuente como el global del equipo medioambiental y los paneles absorbentes. Así, se obtendría un paralelepípedo de referencia de grandes dimensiones con lo que los puntos de medida se alejarían innecesariamente de la parte de la fuente que sí emite ruido.

Para solucionar este aspecto, se considera como superficie de referencia el paralelepípedo que envuelve a la parte de la fuente global que emite ruido (*Figura 5.19*).

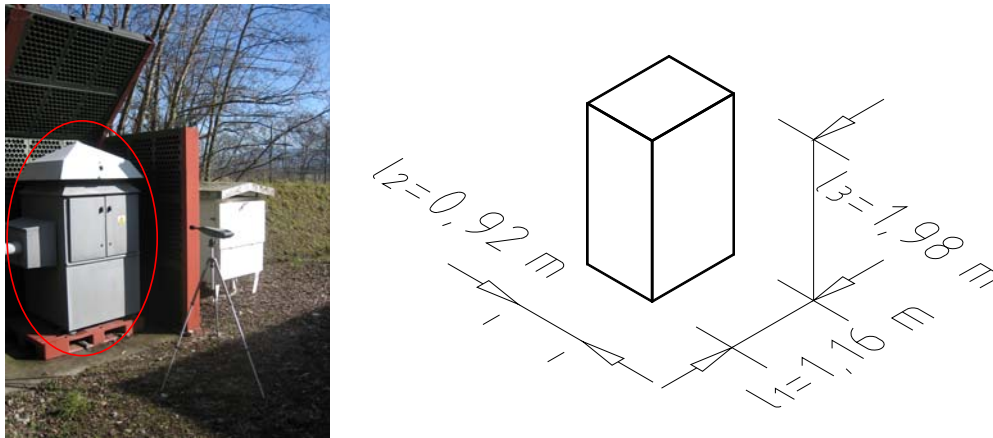


Figura 5.19: Vista del muestreador y dimensiones de su paralelepípedo de referencia

Una vez definida la superficie de referencia, se debe considerar la distancia de medida d desde el paralelepípedo de referencia a la superficie de medida. Para este caso de medidas de presión acústica, se toma $d = 1\text{ m}$ y se define un paralelepípedo rectangular de área $S = 26,93\text{ m}^2$ con 9 puntos de medida (*Figuras 5.20 y 5.21*).

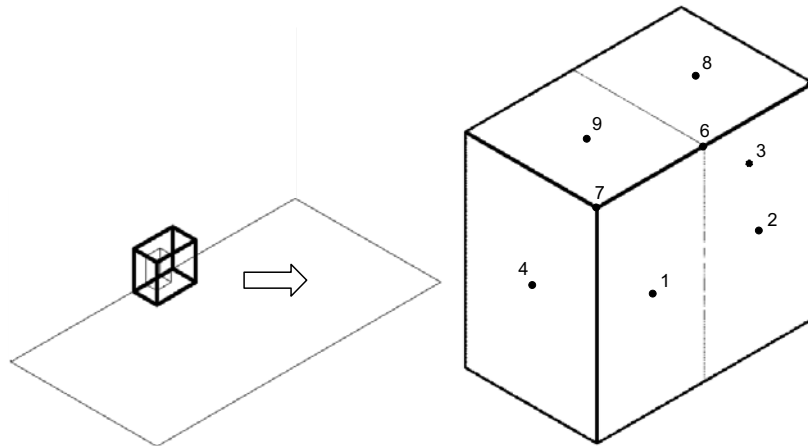


Figura 5.20: Distribución de los 9 puntos de presión acústica en la superficie de medida

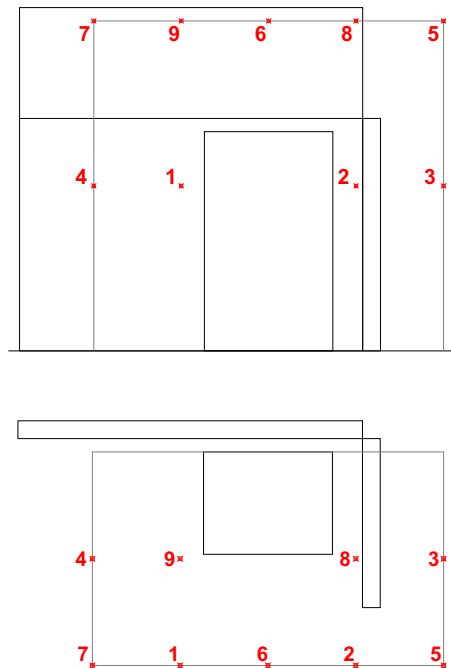


Figura 5.21: Vistas en alzado y planta de la distribución de los 9 puntos de presión acústica en la superficie de medida

Capítulo 5. Elección de la fuente de ruido y procedimiento de medida

Realizando las medidas acústicas se obtienen los niveles de presión acústica para el espectro de frecuencias entre 125 y 10 kHz, medidos en las 9 posiciones sobre la superficie de medida respectivamente. Como ya se vio en el ejemplo de aplicación de la normativa ISO 3744, los niveles de potencia acústica en ambos casos se han calculado siguiendo las ecuaciones (3.6) a (3.14).

Los resultados de los niveles de presión y potencia acústica de la fuente bajo ensayo en funcionamiento se muestran en la *Figura 5.22* y en la *Tabla 5.4*.

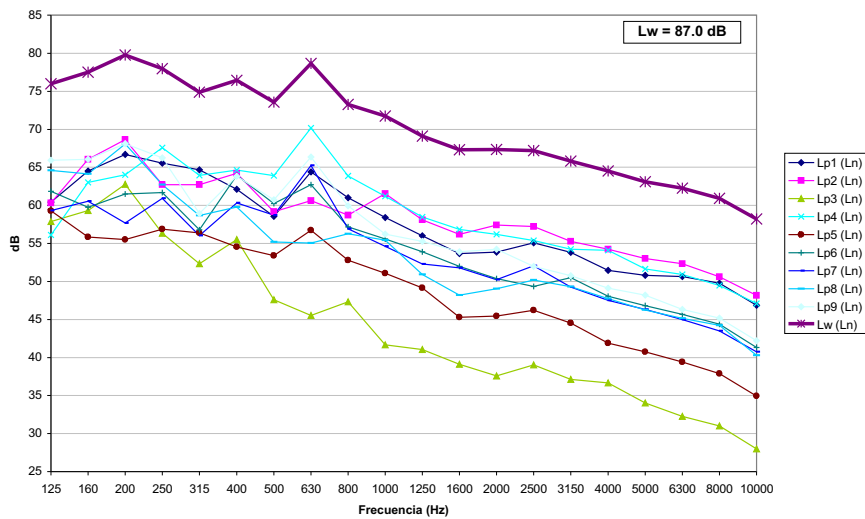


Figura 5.22: Niveles de presión y potencia acústica obtenidos al medir en los 9 puntos de la superficie de medida

Capítulo 5. Elección de la fuente de ruido y procedimiento de medida

| Hz | Lp1 (dB) | Lp2 (dB) | Lp3 (dB) | Lp4 (dB) | Lp5 (dB) | Lp6 (dB) | Lp7 (dB) | Lp8 (dB) | Lp9 (dB) | LWT (dB) |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|
| 125 | 60.4 | 60.3 | 57.9 | 56.1 | 59.3 | 61.9 | 59.3 | 64.6 | 65.9 | 76.0 |
| 160 | 64.5 | 66.1 | 59.3 | 63.0 | 55.8 | 59.7 | 60.5 | 64.2 | 66.0 | 77.5 |
| 200 | 66.7 | 68.6 | 62.8 | 64.0 | 55.5 | 61.5 | 57.7 | 68.1 | 68.1 | 79.8 |
| 250 | 65.6 | 62.7 | 56.3 | 67.6 | 56.9 | 61.7 | 60.9 | 62.7 | 66.3 | 78.0 |
| 315 | 64.7 | 62.7 | 52.3 | 64.0 | 56.4 | 56.8 | 56.1 | 58.7 | 59.0 | 74.9 |
| 400 | 62.1 | 64.2 | 55.5 | 64.6 | 54.6 | 64.0 | 60.3 | 59.8 | 63.8 | 76.5 |
| 500 | 58.6 | 59.2 | 47.6 | 63.9 | 53.4 | 60.2 | 58.7 | 55.2 | 60.8 | 73.6 |
| 630 | 64.4 | 60.6 | 45.5 | 70.2 | 56.7 | 62.7 | 65.2 | 55.0 | 66.4 | 78.7 |
| 800 | 61.0 | 58.7 | 47.3 | 63.9 | 52.8 | 57.2 | 56.9 | 56.3 | 59.9 | 73.3 |
| 1000 | 58.4 | 61.5 | 41.7 | 61.2 | 51.1 | 55.6 | 54.6 | 55.4 | 56.2 | 71.7 |
| 1250 | 56.0 | 58.1 | 41.1 | 58.5 | 49.1 | 53.9 | 52.3 | 50.9 | 55.3 | 69.1 |
| 1600 | 53.7 | 56.2 | 39.1 | 56.8 | 45.3 | 52.0 | 51.8 | 48.2 | 53.9 | 67.3 |
| 2000 | 53.9 | 57.4 | 37.6 | 56.2 | 45.5 | 50.4 | 50.2 | 49.0 | 54.3 | 67.3 |
| 2500 | 55.1 | 57.2 | 39.0 | 55.4 | 46.2 | 49.3 | 52.0 | 50.2 | 52.0 | 67.2 |
| 3150 | 53.8 | 55.3 | 37.1 | 54.2 | 44.5 | 50.5 | 49.3 | 49.3 | 50.8 | 65.8 |
| 4000 | 51.4 | 54.2 | 36.7 | 54.1 | 41.9 | 48.0 | 47.5 | 47.7 | 49.1 | 64.5 |
| 5000 | 50.8 | 53.0 | 34.0 | 51.6 | 40.7 | 46.8 | 46.3 | 46.2 | 48.2 | 63.1 |
| 6300 | 50.7 | 52.3 | 32.3 | 50.9 | 39.4 | 45.7 | 45.0 | 45.1 | 46.3 | 62.3 |
| 8000 | 49.8 | 50.6 | 31.0 | 49.5 | 37.9 | 44.4 | 43.5 | 44.2 | 45.2 | 60.9 |
| 10000 | 46.9 | 48.2 | 28.0 | 47.1 | 35.0 | 41.3 | 40.7 | 40.3 | 42.2 | 58.2 |
| L | 77.0 | 75.8 | 70.8 | 80.3 | 69.1 | 74.3 | 74.5 | 74.3 | 78.5 | 87.0 |

Tabla 5.4: Niveles de presión acústica en los 9 puntos de medida y nivel de potencia obtenido

Llegados a este punto, la normativa valora la precisión de los resultados obtenidos dependiendo de las características específicas del ruido de fondo y del entorno de ensayo. Así, se introducen las correcciones K_1 (por ruido de fondo) y K_2 (por entorno acústico de ensayos).

Bajo estas circunstancias en las que se tiene la presencia de material absorbente acústico como parte de una fuente que no se puede mover, por cuestiones físicas u operacionales, y

Capítulo 5. Elección de la fuente de ruido y procedimiento de medida

además no se puede parar, se tiene que aplicando las normativas vigentes no es posible obtener los niveles de la potencia acústica de la fuente bajo ensayo con unos límites aceptables de incertidumbre, ya que no se puede valorar la influencia de los paneles absorbentes sobre el ruido de fondo.

De esta forma, surge la necesidad de plantear un método alternativo a las directrices dadas por la normativa para la obtención de los niveles de potencia acústica reales de la fuente sonora bajo ensayo en estas circunstancias.

Capítulo 6

Estudio de la directividad de la fuente bajo ensayo.

6.1. Introducción.

El campo cercano en la mayoría de fuentes se caracteriza por tener máximos y mínimos locales de presión acústica. Este hecho implica, que dicho campo no puede ser caracterizado con una sola función dependiente de la dirección. Sin embargo, en campo lejano la presión acústica va decreciendo con un ratio de 6 dB cada vez que se dobla la distancia, de manera que para este caso, sí se puede definir un índice de directividad que describa el campo en función de la dirección.

Una fuente puntual simple radia uniformemente en todas las direcciones. En general, sin embargo, la radiación de cualquier fuente es normalmente direccional, ya que la emisión es mayor en algunas direcciones que en otras. En campo lejano, las propiedades direccionales de una fuente sonora pueden ser cuantificadas por la introducción de un factor de directividad que describe la dependencia angular de la intensidad acústica.

Así, definiendo I_S como la intensidad que emitiría una fuente sonora no direccional de potencia W en campo libre sobre una superficie esférica envolvente.

$$I_S = \frac{W}{4\pi r^2} \tag{6.1}$$

Capítulo 6. Estudio de la directividad de la fuente bajo ensayo.

Y siendo I_θ la intensidad radiada por la misma fuente de potencia W con ángulo θ y distancia r , el factor de directividad, Q , es definido como el cociente de ambas intensidades.

$$Q = \frac{I_\theta}{I_S} \quad (6.2)$$

Una vez obtenido Q , el índice de directividad es definido como:

$$DI = 10 \log Q \quad (6.3)$$

Y alternativamente, haciendo uso de las ecuaciones (6.1) y (6.2) se tiene:

$$DI = L_{I_\theta} - L_W + 10 \log \left(\frac{4\pi r^2}{S_0} \right) \quad (6.4)$$

Donde

$$S_0 = 1m^2$$

En general, el índice de directividad se obtiene midiendo la intensidad I_θ a una distancia r y con una orientación angular θ del centro de la fuente. Alternativamente, se puede medir la presión acústica, L_p , en lugar de la intensidad, quedando la ecuación:

$$DI = L_{p_\theta} - L_W + 10 \log \left(\frac{4\pi r^2}{S_0} \right) + 10 \log \left(\frac{p_0^2}{\rho c I_0} \right) \quad (6.5)$$

Donde

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Por otro lado, una fuente simple sobre una superficie plana o cercana a un muro radiará hacia el espacio libre que le quede. Si la potencia acústica de la fuente simple puede asumirse como constante, entonces este caso puede ser representado usando la ecuación siguiente:

Capítulo 6. Estudio de la directividad de la fuente bajo ensayo.

$$W = I \frac{4\pi r^2}{Q} = \frac{\overline{p}^2 4\pi r^2}{\rho c Q} \quad (6.6)$$

Donde la intensidad I es independiente del ángulo en la región de propagación, y el factor de directividad Q toma el valor indicado en la *Tabla 6.1*.

| Situación | Factor de Directividad | Índice de Directividad |
|--|------------------------|------------------------|
| Espacio Libre | 1 | 0 |
| Centrada en una gran superficie plana | 2 | 3 |
| Centrada en el límite formado por la unión de dos grandes superficies planas | 4 | 6 |
| En el rincón formado por la unión de tres grandes superficies planas | 8 | 9 |

Tabla 6.1: Factores e Índices de Directividad para distintos casos de situación de una fuente simple. [88]

6.2. Ensayos para el cálculo de la directividad.

Con el fin de caracterizar acústicamente la fuente sonora bajo ensayo, además de la determinación de su potencia acústica, que se verá en los apartados siguientes, en este apartado se obtiene su directividad para así describir la fuente lo más ampliamente posible. Por otro lado, otro motivo por el cual se llevó a cabo este estudio, fue porque en la realización de los modelos acústicos utilizando el software TYMPAN 3.2, esta información es necesaria para modelizar las fuentes sonoras.

Para comenzar con el cálculo de la directividad, comentar que no existe una normativa particular que fije el proceso a seguir. Para realizar el estudio de la directividad de la fuente bajo ensayo, se seguirán las directrices que da la Norma *ISO 3744* para la obtención del Índice de Directividad en una determinada posición de micrófono.

Como ya se explicó en el capítulo anterior, por el interés de considerar la fuente sonora como un todo a la hora de realizar la modelización acústica con TYMPAN 3.2, se considera que la fuente sonora es el conjunto del equipo medioambiental como los paneles absorbentes de su alrededor.

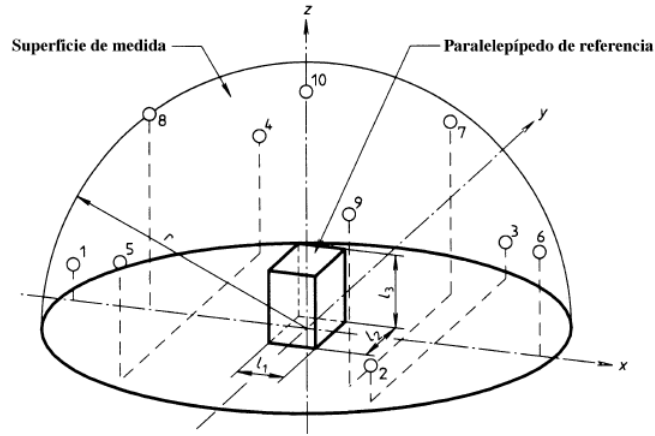
Por otro lado, también se vio el interés de acotar su zona de estudio acústico, ya que la energía sonora transmitida por la fuente a su parte trasera es despreciable respecto a la zona delantera debido a la solución acústica implantada para evitar la propagación del ruido en esa dirección.

De esta forma, se tiene una fuente sonora que se encuentra sobre un plano reflectante, que es el suelo, y que cuya energía sonora es claramente transmitida por uno de sus cuadrantes de emisión.

6.3. Directrices a seguir.

Según la Norma ISO 3744, el índice de directividad en la dirección de la posición de micrófono i , DI_i , en decibelios, se define para una superficie de medida semiesférica (*Figura 6.1*) por la ecuación (6.7).

$$DI_i = L_{pi} - \overline{L_{ps}} + 3 \quad (6.7)$$



● Posiciones fundamentales de micrófono

Figura 6.1: Posiciones de micrófono sobre la semiesfera - Posiciones fundamentales de micrófono

Para nuestro caso de estudio, se tiene una fuente sonora adyacente a una superficie reflectora (el suelo) con lo que se cumple la ecuación (6.7), siendo la superficie de medida una semiesfera. No obstante, como ya se ha comentado anteriormente, en la parte trasera de la fuente sonora la energía sonora es despreciable, con lo que la distribución de los puntos de medida se realizará en la parte delantera de la semiesfera.

Así, tomando como referencia las posiciones de micrófono para las medidas de presión acústica indicados en la Norma ISO 3744, *Figuras 6.2 y 6.3*.

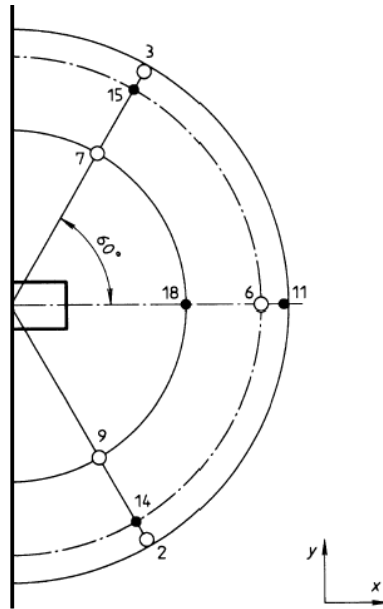
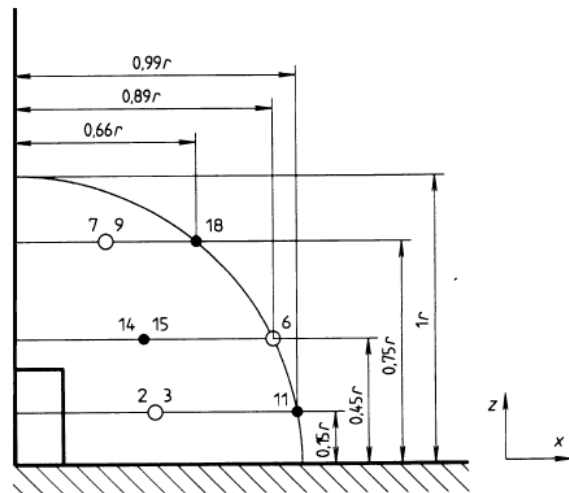


Figura 6.2: Posiciones de micrófono alrededor del paralelepípedo de referencia



- Posiciones fundamentales de micrófono
- Posiciones adicionales de micrófono

Figura 6.3: Posiciones de micrófono alrededor del paralelepípedo de referencia

Capítulo 6. Estudio de la directividad de la fuente bajo ensayo.

Y considerando los medios disponibles y las restricciones de altura dadas por ellos, se definen los puntos de medida para la realización del estudio de directividad de la fuente sonora a dos alturas diferentes y con una separación de 5° entre cada medida.

De esta forma, debido a la carencia de una pértiga suficientemente alta, se realizan medidas en sólo dos planos, aunque esta decisión tiene su sentido porque se considera que la directividad de la fuente varía mucho más en los planos paralelos que en los meridianos, por lo que los planos no medidos tendrán una directividad muy parecida al plano superior medido.

Así, finalmente se obtienen 35 puntos de medida para una primera altura h_1 y otros 35 puntos para una altura h_2 (Figura 6.4).

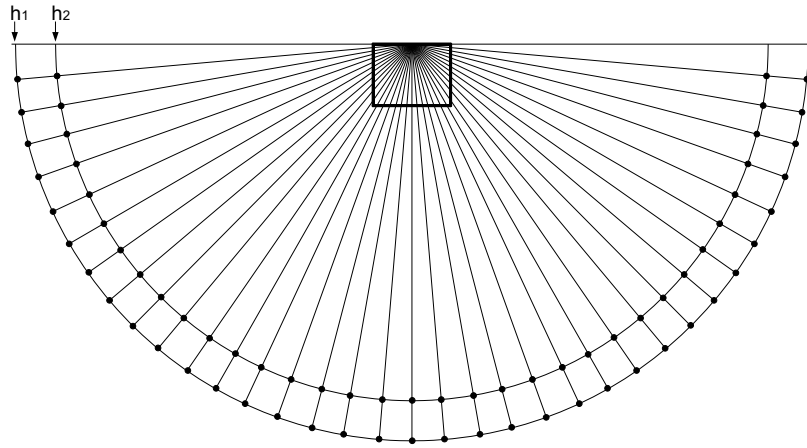


Figura 6.4: Vista en planta del cuarto de circunferencia de medida con los puntos para h_1 y h_2

Aplicando las directrices dadas por la Norma a nuestro caso de estudio para realizar los diagramas polares de la fuente sonora, se selecciona en primer lugar un valor de r de 6 m, obteniendo a partir de este valor el radio $R_1 = 0,99 \cdot r = 5,94$ m donde estarán situados los primeros 35 puntos de medida espaciados cada 5° y altura $h_1 = 0,15 \cdot r = 0,9$ m.

Además, se definen en adición 35 nuevos puntos de medida espaciados también 5° , con radio $R_2 = 0,89 \cdot r = 5,34$ m y altura $h_2 = 0,45 \cdot r = 2,7$ m (Figuras 6.5 y 6.6).

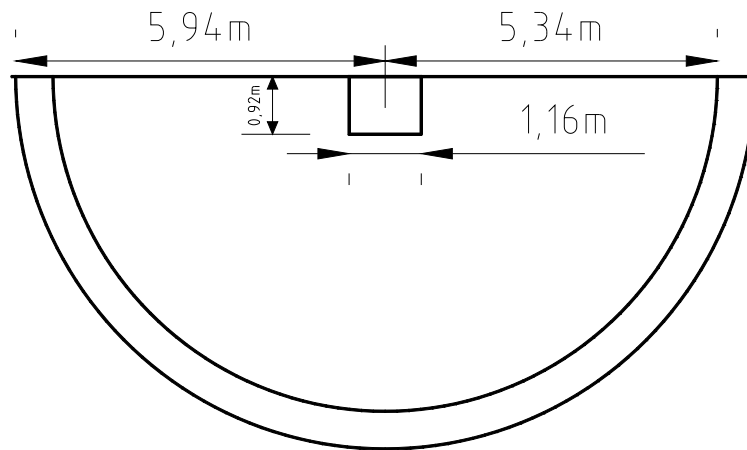


Figura 6.5: Dimensiones de la fuente de ensayo y de la superficie de medida

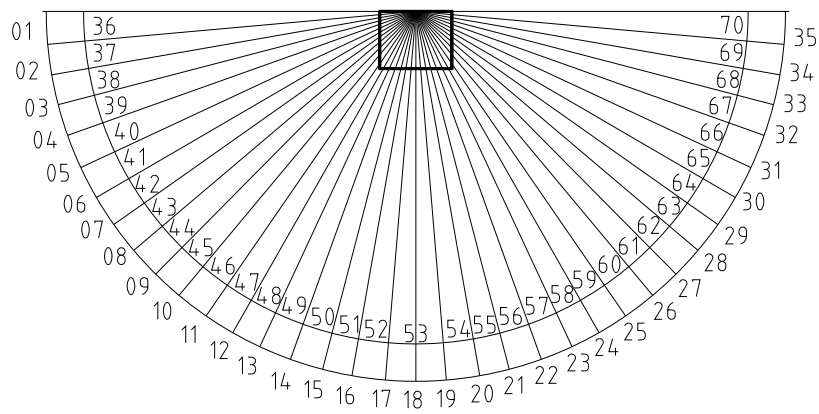


Figura 6.6: Puntos de medida para obtener la directividad de la fuente

6.4. Medidas experimentales y directividad de la fuente.

Realizando las medidas de presión acústica en los 70 puntos, los niveles obtenidos se muestran en las Figuras 6.7 y 6.8 y sus diagramas polares en la Figura 6.9. Además, los resultados numéricos se encuentran en el Anexo B.

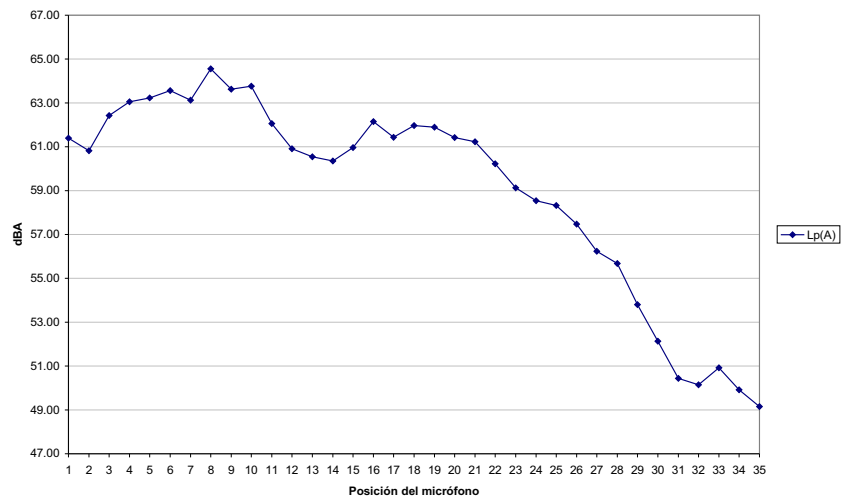


Figura 6.7: Niveles de presión acústica ponderados A para las posiciones 1-35 del micrófono

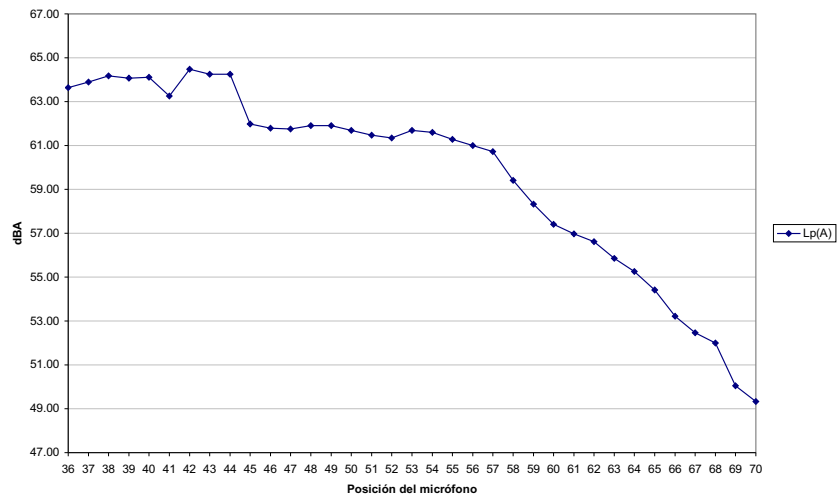


Figura 6.8: Niveles de presión acústica ponderados A para las posiciones 36-70 del micrófono

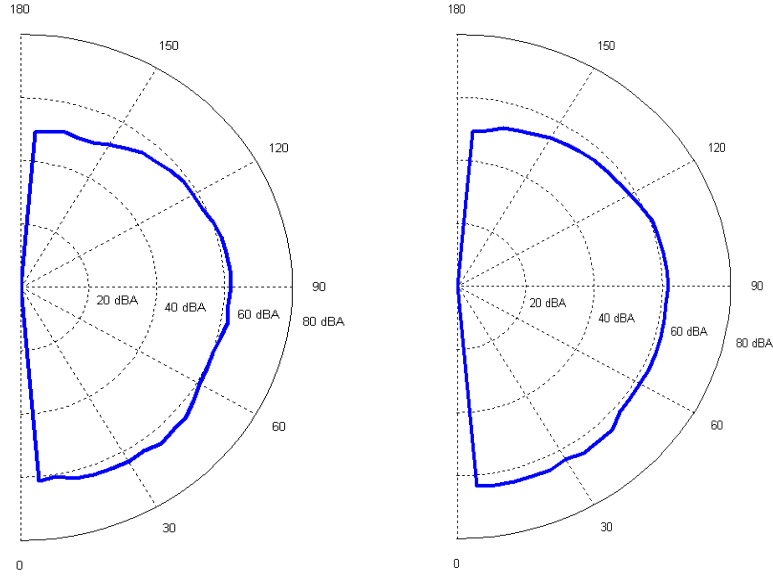


Figura 6.9: Diagramas polares de los niveles de presión acústica ponderados A para las 70 posiciones del micrófono (Fig. Izquierda \Rightarrow Ptos 1-35 & Fig. Derecha \Rightarrow Ptos 36-70)

A partir de la ecuación (6.7) se obtiene el factor de directividad como:

$$Q_i = 10^{\frac{DI_i}{10}} \quad (6.8)$$

Así, los diagramas polares de los factores de directividad calculados en bandas de octava centradas en las frecuencias 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 Hz en las 70 posiciones del micrófono son mostrados en las Figuras 6.10 a 6.17. Como complemento a estas gráficas, sus resultados numéricos pueden ser consultados en el Anexo B.

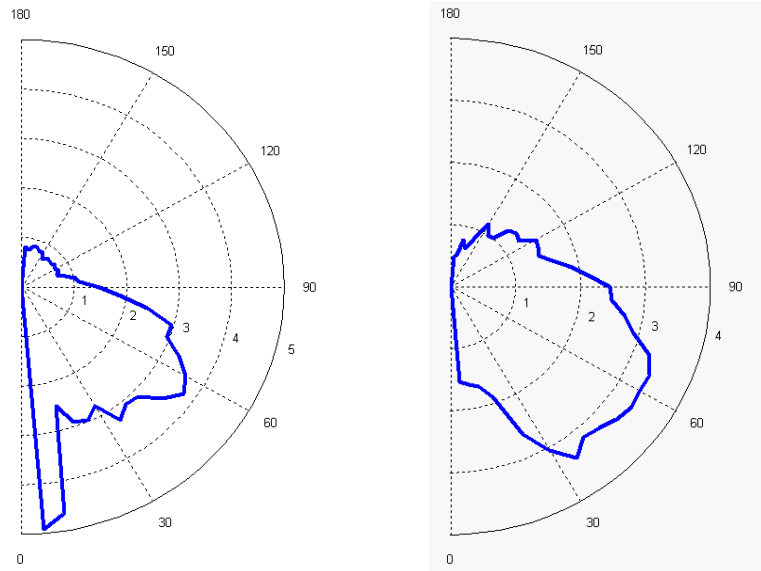


Figura 6.10: Diagramas polares de los factores de directividad para la banda de octava centrada en 63 Hz en las 70 posiciones del micrófono (Fig. Izquierda \Rightarrow Ptos 1-35 & Fig. Derecha \Rightarrow Ptos 36-70)

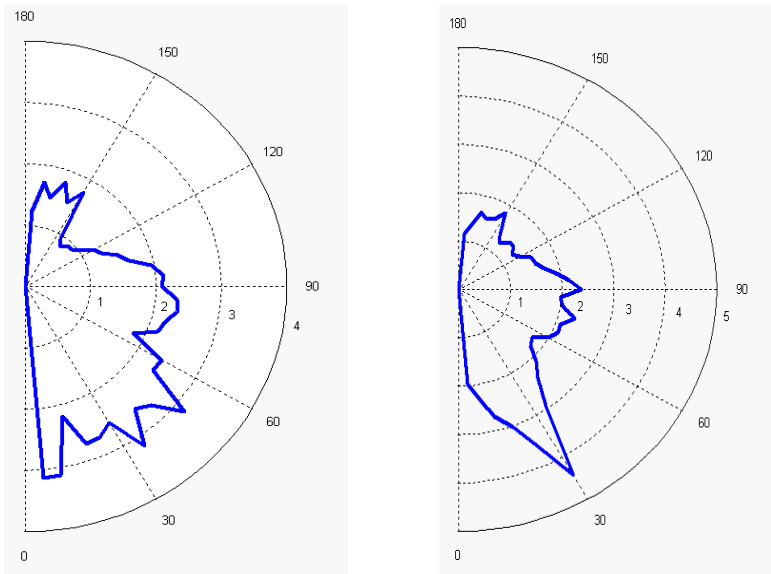


Figura 6.11: Diagramas polares de los factores de directividad para la banda de octava centrada en 125 Hz en las 70 posiciones del micrófono (Fig. Izquierda \Rightarrow Ptos 1-35 & Fig. Derecha \Rightarrow Ptos 36-70)

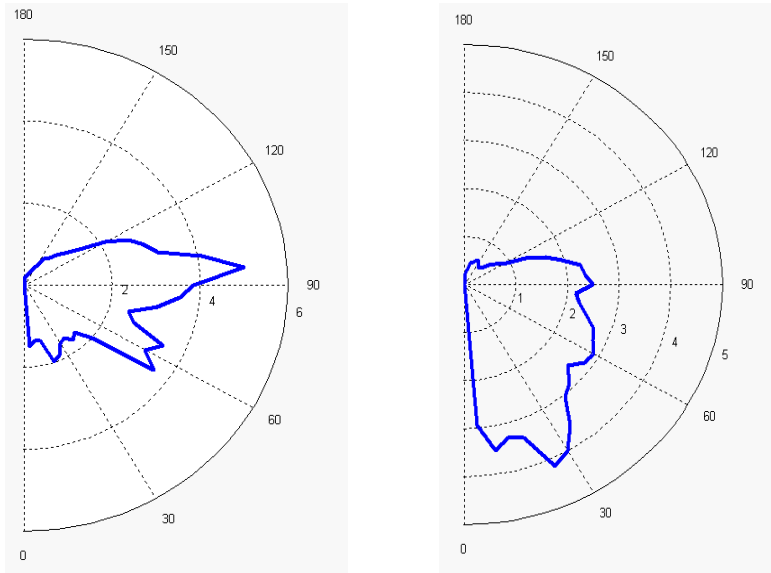


Figura 6.12: Diagramas polares de los factores de directividad para la banda de octava centrada en 250 Hz en las 70 posiciones del micrófono (Fig. Izquierda \Rightarrow Ptos 1-35 & Fig. Derecha \Rightarrow Ptos 36-70)

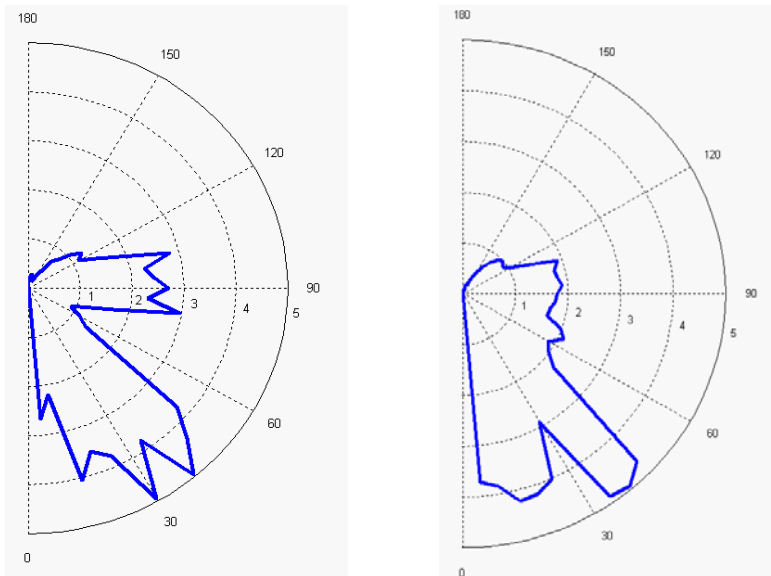


Figura 6.13: Diagramas polares de los factores de directividad para la banda de octava centrada en 500 Hz en las 70 posiciones del micrófono (Fig. Izquierda \Rightarrow Ptos 1-35 & Fig. Derecha \Rightarrow Ptos 36-70)

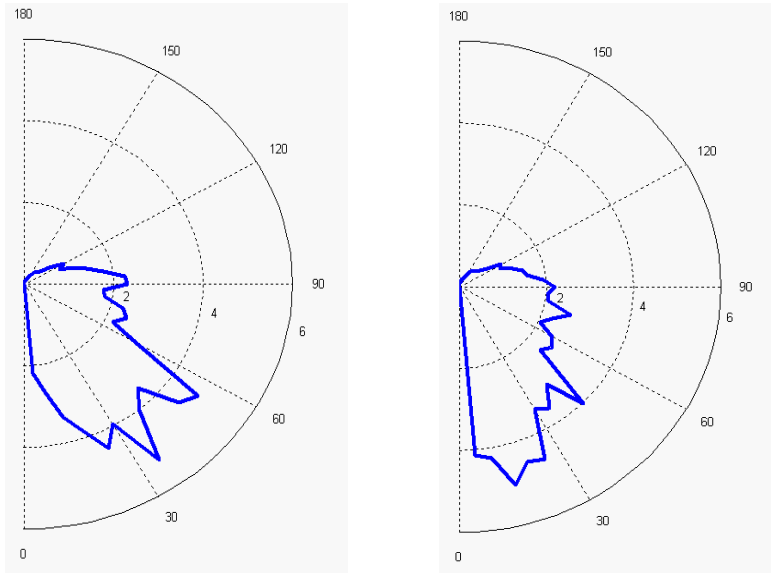


Figura 6.14: Diagramas polares de los factores de directividad para la banda de octava centrada en 1000 Hz en las 70 posiciones del micrófono (Fig. Izquierda \Rightarrow Ptos 1-35 & Fig. Derecha \Rightarrow Ptos 36-70)

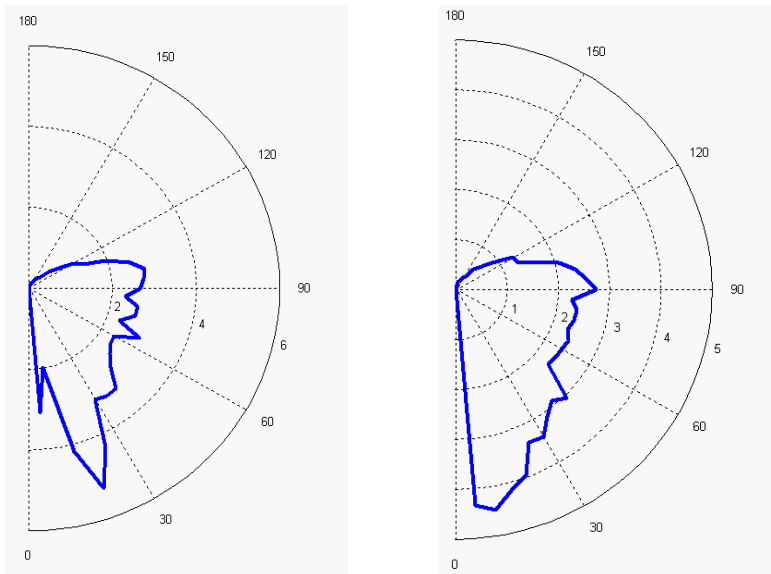


Figura 6.15: Diagramas polares de los factores de directividad para la banda de octava centrada en 2000 Hz en las 70 posiciones del micrófono (Fig. Izquierda \Rightarrow Ptos 1-35 & Fig. Derecha \Rightarrow Ptos 36-70)

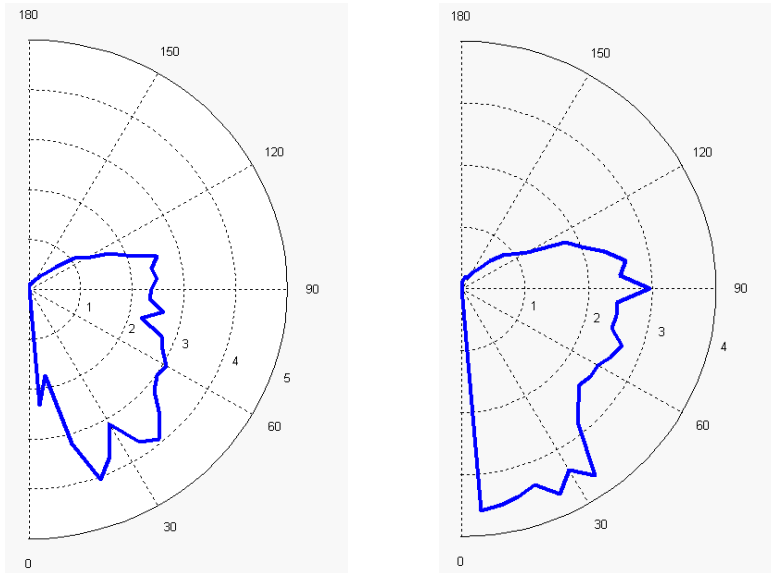


Figura 6.16: Diagramas polares de los factores de directividad para la banda de octava centrada en 4000 Hz en las 70 posiciones del micrófono (Fig. Izquierda \Rightarrow Ptos 1-35 & Fig. Derecha \Rightarrow Ptos 36-70)

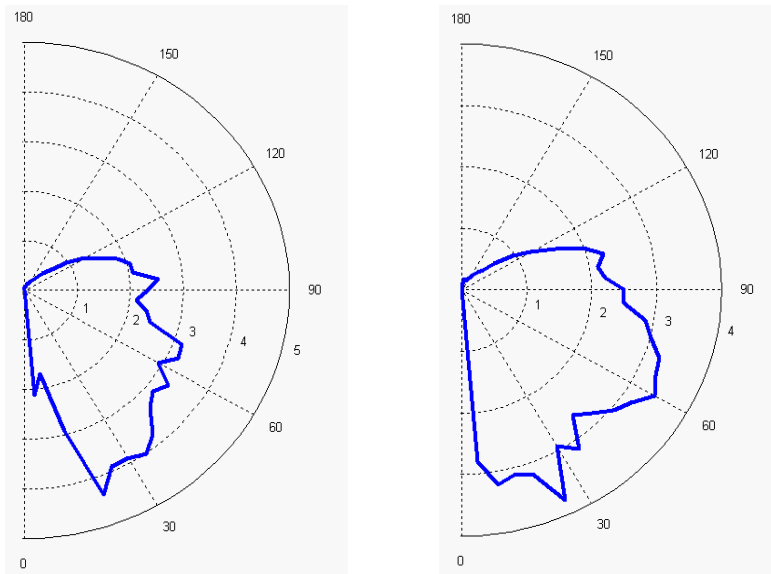


Figura 6.17: Diagramas polares de los factores de directividad para la banda de octava centrada en 8000 Hz en las 70 posiciones del micrófono (Fig. Izquierda \Rightarrow Ptos 1-35 & Fig. Derecha \Rightarrow Ptos 36-70)

6.5. Conclusiones de los resultados obtenidos.

En los diagramas vistos anteriormente, se puede apreciar como en general la fuente tiene una directividad destacada en los puntos situados entre 0° y 60° , destacando los altos valores de Q en las bandas de octava centradas en 500 , 1000 y 2000 Hz, debido por un lado a la existencia de la pequeña pared absorbente situada en el lateral derecho de la fuente y a la presencia de un tubo para la salida de gases en la parte izquierda de la fuente.

Por contra, en los puntos situados entre los 90° y los 180° se tiene una directividad menor debido a la existencia de la pequeña pared absorbente situada en el lateral derecho de la fuente.

Por otro lado, hay que destacar que para determinadas frecuencias se tienen unas directividades elevadas como en el caso del punto de medida con altura $0,9$ m a 95° para la banda de octava centrada en 250 Hz donde Q toma un valor de 5.0 .

Capítulo 7

Medidas con la sonda intensidad para la obtención de la potencia acústica de la fuente bajo ensayo.

7.1. Introducción.

Una vez obtenida la directividad de la fuente, para completar su caracterización acústica, se deben calcular sus niveles de potencia acústica para las distintas frecuencias.

Como ya se vio en el capítulo 5, una primera opción es la realización de medidas de presión acústica para la obtención de los niveles de potencia acústica de la fuente sonora, siendo la otra alternativa las medidas de intensidad acústica *Figura 7.1*.

Capítulo 7. Medidas con la sonda intensidad para la obtención de la potencia acústica de la fuente bajo ensayo.



Figura 7.1: Realización de medidas de presión (izquierda) y de intensidad acústica (derecha)

Al igual que para el caso de las medidas de presión, para las de intensidad acústica también existen una serie de normas: [39], [40] y [41], que exponen paso por paso las directrices a seguir para la obtención de la potencia acústica.

En este apartado, se aplicará al caso bajo estudio la normativa referente al proceso de medida mediante puntos discretos [39] para estudiar si es o no aplicable el método de intensidad acústica para obtener la potencia acústica de la fuente bajo ensayo.

7.2. Aplicación de la normativa ISO 9614-1 [39].

Para comenzar con la aplicación de la normativa, se debe definir la superficie de referencia. Como ya se vio en el apartado 5.3 al aplicar a la fuente bajo estudio la normativa de medidas de presión [35], la superficie de referencia que se considera, es el paralelepípedo que envuelve a la parte de la fuente global que emite ruido sin considerar en el estudio la parte trasera de la fuente, ya que como se detalló en el apartado 5.2, los niveles sonoros en la parte trasera tienen unas diferencias significativas, 25-30 dB, con respecto a los de la parte delantera, debido a los paneles de aislamiento acústico que están instalados cercanos a la fuente bajo ensayo.

De esta forma, definiendo un paralelepípedo de referencia que envuelva la parte de la fuente de mayor emisión sonora en lugar de hacerlo sobre toda la fuente global se pretende optimizar el número de medidas a realizar y evitar que los puntos de medida se alejen de la parte de la fuente que emite el ruido. La *Figura 7.2* muestra la diferencia entre las dos superficies de medida que resultarían para los dos casos señalados.

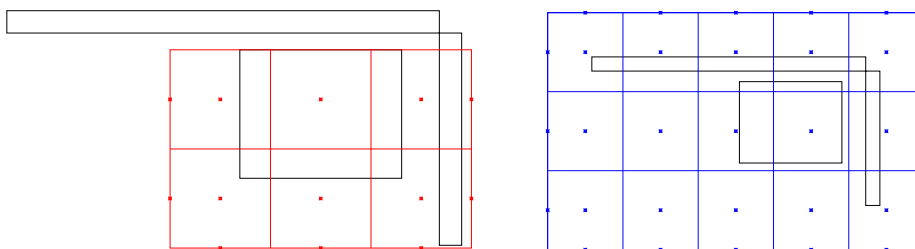


Figura 7.2: Superficies de medida que resultarían al tomar diferentes paralelepípedos de referencia.

A continuación, se toma una distancia de medida $d = 0,5 \text{ m}$ y se define un paralelepípedo rectangular de área $S = 15,47 \text{ m}^2$ con 27 puntos de medida (*Figuras 7.3 y 7.4*).

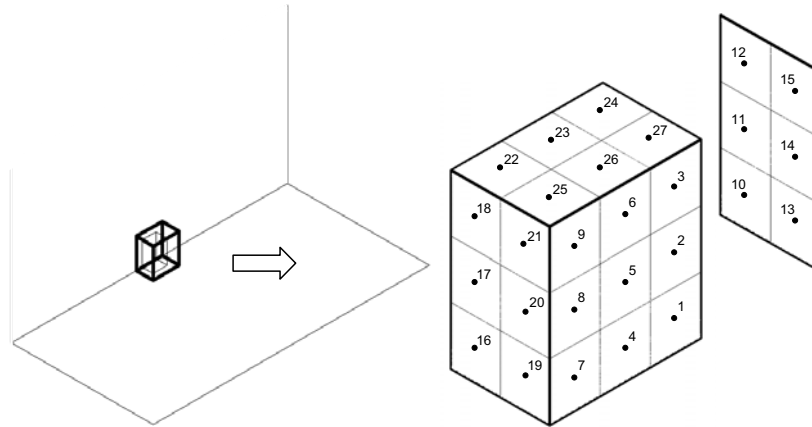


Figura 7.3: Distribución de los 27 puntos de intensidad acústica en la superficie de medida

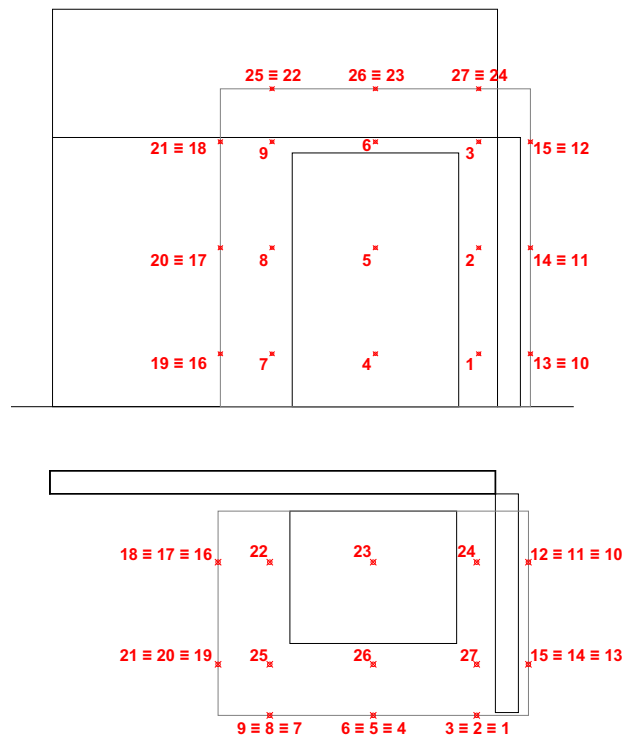


Figura 7.4: Vistas en alzado y planta de la distribución de los 27 puntos de intensidad acústica en la superficie de medida

Capítulo 7. Medidas con la sonda intensidad para la obtención de la potencia acústica de la fuente bajo ensayo.

El siguiente paso es la realización de las medidas utilizando la sonda de intensidad. La duración de estas medidas fue de 20 segundos cada una y se realizaron utilizando un único espaciador de $12mm$ para todas las frecuencias de estudio ($125Hz - 10kHz$), al considerar dichas medidas como válidas según los estudios realizados por Jacobsen, Cutanda y Juhl con sondas de intensidad para altas frecuencias [49].

De esta forma, en cada medición se obtienen, al mismo tiempo, los niveles de intensidad y de presión para las frecuencias de 125 a 10000 Hz en las 27 posiciones de la sonda (*Tablas 7.1 y 7.3*).

Finalmente, considerando las áreas de los elementos de superficie asociados a los 27 puntos que forman el paralelepípedo de medida, se realizan dos determinaciones de los niveles de potencia acústica emitidos por la fuente, aplicando para ello dos métodos diferentes. Así, por un lado se obtienen dichos niveles a partir de los niveles de intensidad acústica y por otro a partir de los niveles de presión acústica (*Tablas 7.2 y 7.4*).

**Capítulo 7. Medidas con la sonda intensidad para la obtención de la potencia
acústica de la fuente bajo ensayo.**

| Hz | LI1 | LI2 | LI3 | LI4 | LI5 | LI6 | LI7 | LI8 | LI9 | LI10 | LI11 | LI12 | LI13 | LI14 | LI15 | LI16 | LI17 | LI18 | LI19 | LI20 | LI21 | LI22 | LI23 | LI24 | LI25 | LI26 | LI27 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|------|---------|---------|------|------|------|---------|---------|------|---------|------|------|------|------|------|------|
| 125 | 53.4 | 60.4 | 59.7 | 55.3 | 63.8 | 56.6 | 56.2 | 59.9 | 57.7 | 57.7 | 54.5 | 63.9 | 51.1 | 53.8 | 60.6 | 62.7 | 63.8 | 64.1 | 53.5 | 59.3 | 60.1 | 66.4 | 70.0 | 69.8 | 60.7 | 66.1 | 65.0 |
| 160 | 64.3 | 66.4 | 64.1 | 63.6 | 68.3 | 64.2 | 60.2 | 67.5 | 60.6 | 53.3 | 60.4 | 61.4 | 54.3 | 62.3 | 55.2 | 73.0 | 70.9 | 62.7 | 61.0 | 68.9 | 44.2(-) | 68.4 | 71.7 | 70.6 | 62.5 | 62.6 | 61.1 |
| 200 | 66.9 | 71.4 | 69.8 | 65.6 | 71.0 | 71.9 | 63.8 | 70.1 | 68.4 | 56.2 | 53.9 | 63.3 | 56.7 | 59.3 | 59.0 | 67.8 | 71.6 | 70.7 | 63.5 | 69.1 | 62.3 | 70.5 | 75.1 | 74.2 | 60.2 | 58.8 | 64.0 |
| 250 | 61.5 | 64.1 | 64.6 | 64.9 | 63.6 | 66.6 | 66.0 | 66.2 | 65.2 | 51.9 | 43.3 | 57.0 | 51.4 | 52.4 | 55.6 | 58.8 | 60.8 | 54.4(-) | 65.0 | 63.2 | 53.2 | 66.3 | 69.6 | 67.7 | 63.1 | 64.9 | 62.7 |
| 315 | 64.8 | 60.9 | 59.2 | 65.9 | 64.7 | 56.1 | 63.1 | 61.8 | 59.4 | 48.3 | 41.5 | 47.9 | 49.2 | 45.1 | 52.5 | 62.0 | 57.9 | 50.3(-) | 62.9 | 55.4 | 56.1 | 59.0 | 63.3 | 60.8 | 55.8 | 58.8 | 58.3 |
| 400 | 64.0 | 61.9 | 61.1 | 63.7 | 70.8 | 67.7 | 65.0 | 60.6 | 60.6 | 48.9 | 46.4(-) | 57.4 | 28.8(-) | 42.9 | 56.6 | 61.4 | 71.4 | 61.6 | 62.1 | 61.8 | 54.5 | 61.6 | 68.1 | 64.3 | 61.0 | 68.3 | 65.3 |
| 500 | 59.3 | 58.2 | 57.8 | 61.2 | 64.7 | 62.7 | 63.7 | 63.7 | 60.2 | 47.0 | 41.3(-) | 50.4 | 41.2 | 38.2(-) | 50.0 | 62.5 | 65.1 | 55.4 | 60.9 | 62.0 | 49.0 | 62.6 | 61.7 | 59.1 | 60.8 | 61.8 | 58.3 |
| 630 | 58.8 | 60.5 | 64.3 | 64.2 | 65.4 | 62.6 | 72.5 | 73.4 | 69.7 | 40.6 | 34.6 | 41.2 | 43.3 | 49.2 | 49.8 | 67.6 | 61.5 | 49.4 | 69.1 | 70.9 | 63.0 | 70.7 | 63.9 | 59.6 | 67.7 | 58.2 | 57.5 |
| 800 | 56.5 | 61.3 | 56.8 | 59.0 | 63.6 | 59.3 | 61.8 | 61.5 | 58.1 | 47.9 | 32.2 | 40.5 | 45.9 | 38.3 | 45.3 | 57.3 | 61.1 | 57.0 | 44.7(-) | 58.4 | 57.5 | 60.6 | 57.7 | 58.2 | 59.0 | 60.1 | 59.2 |
| 1000 | 54.0 | 61.4 | 53.9 | 58.3 | 61.0 | 58.5 | 58.4 | 58.5 | 57.5 | 42.3 | 36.4(-) | 39.6 | 41.8 | 38.6 | 39.5 | 64.1 | 59.8 | 57.1 | 57.8 | 58.2 | 49.9 | 58.1 | 55.4 | 53.1 | 56.4 | 55.4 | 54.8 |
| 1250 | 55.9 | 58.0 | 51.3 | 59.6 | 61.6 | 55.1 | 58.5 | 58.0 | 54.6 | 37.1 | 29.9(-) | 37.3 | 38.9 | 32.3 | 36.5 | 60.1 | 57.3 | 54.7 | 58.0 | 61.1 | 46.2 | 57.7 | 50.4 | 50.8 | 54.5 | 52.4 | 53.6 |
| 1600 | 56.4 | 52.9 | 49.0 | 58.6 | 58.6 | 53.7 | 56.9 | 54.5 | 50.9 | 37.5 | 29.5(-) | 34.5 | 37.8 | 22.3(-) | 31.5 | 58.3 | 55.7 | 52.5 | 55.8 | 53.1 | 47.6 | 53.3 | 49.7 | 49.2 | 52.0 | 53.3 | 49.8 |
| 2000 | 54.7 | 54.8 | 52.7 | 53.7 | 58.7 | 53.1 | 54.9 | 54.2 | 51.0 | 34.9 | 27.5 | 33.5 | 37.1 | 30.4 | 36.0 | 55.8 | 57.5 | 53.5 | 53.5 | 54.5 | 50.6 | 52.1 | 50.1 | 49.6 | 50.4 | 52.0 | 51.9 |
| 2500 | 52.9 | 56.2 | 53.4 | 51.7 | 60.8 | 52.9 | 55.9 | 57.4 | 52.5 | 35.9 | 23.2 | 37.3 | 37.6 | 19.7 | 39.5 | 53.3 | 61.4 | 52.6 | 52.5 | 56.6 | 50.0 | 53.1 | 49.1 | 51.5 | 51.4 | 50.2 | 52.2 |
| 3150 | 52.9 | 56.3 | 50.5 | 54.5 | 60.2 | 53.8 | 53.5 | 56.0 | 50.5 | 34.9 | 14.8(-) | 33.5 | 32.6 | 30.7 | 32.7 | 54.6 | 58.8 | 52.1 | 52.2 | 54.9 | 49.6 | 50.4 | 49.1 | 50.2 | 49.3 | 50.1 | 51.2 |
| 4000 | 50.8 | 55.8 | 49.5 | 49.8 | 58.4 | 49.4 | 50.6 | 54.4 | 49.1 | 27.5 | 10.3 | 33.0 | 27.4 | 19.2 | 31.0 | 51.2 | 56.9 | 52.0 | 50.3 | 54.0 | 47.9 | 48.7 | 47.2 | 48.7 | 47.2 | 47.5 | |
| 5000 | 48.6 | 54.1 | 47.9 | 48.0 | 56.5 | 49.2 | 48.3 | 52.7 | 47.2 | 21.5 | 17.2 | 31.1 | 25.7 | 21.4 | 30.7 | 48.7 | 54.4 | 47.6 | 47.5 | 52.2 | 45.4 | 46.4 | 45.7 | 46.6 | 45.6 | 46.2 | 45.9 |
| 6300 | 47.0 | 54.9 | 44.8 | 48.0 | 56.8 | 46.1 | 47.0 | 51.8 | 44.8 | 21.4 | 18.2 | 28.6 | 24.3 | 21.1 | 27.9 | 49.2 | 54.1 | 45.8 | 47.5 | 50.4 | 42.5 | 44.3 | 44.3 | 45.0 | 43.9 | 45.2 | 45.4 |
| 8000 | 46.6 | 52.0 | 42.8 | 46.7 | 53.4 | 44.4 | 45.3 | 51.6 | 42.6 | 21.2 | 18.5 | 26.5 | 22.1 | 18.9 | 28.0 | 47.1 | 51.3 | 44.0 | 45.2 | 47.5 | 40.5 | 42.6 | 41.3 | 43.3 | 41.7 | 43.2 | 43.5 |
| 10000 | 42.3 | 48.2 | 40.1 | 42.9 | 51.3 | 41.6 | 41.5 | 49.1 | 39.3 | 17.4 | 16.7 | 23.7 | 20.8 | 17.1 | 26.6 | 43.5 | 48.3 | 40.7 | 41.9 | 45.6 | 38.4 | 39.3 | 37.4 | 39.3 | 38.6 | 39.2 | 39.9 |
| L | 72.8 | 75.1 | 73.6 | 73.7 | 77.5 | 75.6 | 75.8 | 77.2 | 74.2 | 62.3 | 62.0 | 68.6 | 60.8 | 64.9 | 65.5 | 76.5 | 77.5 | 73.0 | 73.5 | 75.9 | 68.4 | 76.6 | 79.1 | 77.8 | 72.3 | 73.4 | 72.1 |

Tabla 7.1: Niveles de intensidad acústica en los 27 puntos de medida

**Capítulo 7. Medidas con la sonda intensidad para la obtención de la potencia
acústica de la fuente bajo ensayo.**

| | LW1 | LW2 | LW3 | LW4 | LW5 | LW6 | LW7 | LW8 | LW9 | LW10 | LW11 | LW12 | LW13 | LW14 | LW15 | LW16 | LW17 | LW18 | LW19 | LW20 | LW21 | LW22 | LW23 | LW24 | LW25 | LW26 | LW27 | LWT |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|
| Hz | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | |
| | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.51 | 0.51 | 0.51 | 0.51 | 0.51 | 0.51 | 15.47 |
| | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | |
| 125 | 51.2 | 58.1 | 57.5 | 53.1 | 61.5 | 54.4 | 54.0 | 57.7 | 55.4 | 55.4 | 52.2 | 61.6 | 48.8 | 51.5 | 58.3 | 60.4 | 61.5 | 61.8 | 51.1 | 57.0 | 57.8 | 63.5 | 67.1 | 66.8 | 57.8 | 63.2 | 62.1 | 74.6 |
| 160 | 62.1 | 64.2 | 61.9 | 61.3 | 66.0 | 62.0 | 57.9 | 65.2 | 58.4 | 51.0 | 58.1 | 59.1 | 52.0 | 60.0 | 52.9 | 70.7 | 68.6 | 60.4 | 58.7 | 66.6 | 46.5(-) | 65.5 | 68.8 | 67.7 | 59.6 | 59.7 | 58.2 | 78.1 |
| 200 | 64.6 | 69.2 | 67.6 | 63.4 | 68.7 | 69.6 | 61.6 | 67.8 | 66.2 | 53.8 | 51.5 | 61.0 | 54.4 | 57.0 | 56.7 | 65.5 | 69.3 | 68.4 | 61.2 | 66.8 | 60.0 | 67.6 | 72.2 | 71.3 | 57.3 | 55.8 | 61.1 | 80.6 |
| 250 | 59.3 | 61.9 | 62.3 | 62.6 | 61.3 | 64.3 | 63.8 | 63.9 | 63.0 | 49.6 | 41.0 | 54.7 | 49.1 | 50.1 | 53.3 | 56.4 | 58.5 | 56.7(-) | 62.7 | 60.9 | 50.9 | 63.4 | 66.6 | 64.8 | 60.2 | 62.0 | 59.8 | 75.4 |
| 315 | 62.6 | 58.6 | 57.0 | 63.7 | 62.5 | 53.8 | 60.9 | 59.6 | 57.1 | 46.0 | 39.2 | 45.5 | 46.8 | 42.8 | 50.2 | 59.7 | 55.6 | 52.6(-) | 60.6 | 53.1 | 53.8 | 56.1 | 60.4 | 57.8 | 52.9 | 55.9 | 55.4 | 72.0 |
| 400 | 61.8 | 59.7 | 58.8 | 61.5 | 68.5 | 65.5 | 62.8 | 58.3 | 58.3 | 46.6 | 48.7(-) | 55.1 | 31.1(-) | 40.5 | 54.3 | 59.1 | 69.1 | 59.3 | 59.8 | 59.5 | 52.2 | 58.6 | 65.1 | 61.4 | 58.0 | 65.4 | 62.4 | 76.2 |
| 500 | 57.0 | 55.9 | 55.6 | 59.0 | 62.4 | 60.5 | 61.5 | 57.9 | 44.7 | 43.6(-) | 48.1 | 38.9 | 40.5(-) | 47.7 | 60.2 | 62.8 | 53.1 | 58.6 | 59.7 | 46.7 | 59.7 | 59.7 | 58.8 | 56.2 | 57.9 | 58.9 | 55.4 | 72.3 |
| 630 | 56.5 | 58.3 | 62.0 | 61.9 | 63.2 | 60.3 | 70.3 | 71.2 | 67.4 | 38.2 | 32.3 | 38.9 | 41.0 | 46.8 | 47.5 | 65.3 | 59.2 | 47.1 | 66.8 | 68.6 | 60.7 | 67.8 | 61.0 | 56.7 | 64.8 | 55.3 | 54.6 | 78.2 |
| 800 | 54.3 | 59.1 | 54.6 | 56.8 | 61.4 | 57.0 | 59.6 | 59.2 | 55.8 | 45.6 | 29.9 | 38.2 | 43.6 | 36.0 | 42.9 | 55.0 | 58.8 | 54.7 | 47.1(-) | 56.1 | 55.2 | 57.7 | 54.8 | 55.3 | 56.1 | 57.2 | 56.3 | 70.2 |
| 1000 | 51.7 | 59.1 | 51.7 | 56.0 | 58.7 | 56.3 | 56.1 | 56.3 | 55.2 | 40.0 | 38.7(-) | 37.3 | 39.5 | 36.3 | 37.2 | 61.8 | 57.5 | 54.8 | 55.5 | 55.9 | 47.6 | 55.2 | 52.5 | 50.2 | 53.5 | 52.5 | 51.9 | 69.1 |
| 1250 | 53.7 | 55.7 | 49.1 | 57.4 | 59.3 | 52.8 | 56.3 | 55.8 | 52.4 | 34.8 | 32.2(-) | 35.0 | 36.6 | 30.0 | 34.2 | 57.8 | 55.0 | 52.3 | 55.7 | 58.8 | 43.9 | 54.8 | 47.5 | 47.9 | 51.6 | 49.5 | 50.6 | 68.0 |
| 1600 | 54.2 | 50.7 | 46.8 | 56.3 | 56.4 | 51.5 | 54.6 | 52.3 | 48.7 | 35.2 | 31.8(-) | 32.2 | 35.5 | 24.6(-) | 29.2 | 56.0 | 53.3 | 50.1 | 53.5 | 50.8 | 45.3 | 50.4 | 46.8 | 46.3 | 49.1 | 50.4 | 46.9 | 65.4 |
| 2000 | 52.4 | 52.6 | 50.5 | 51.4 | 56.5 | 50.8 | 52.6 | 52.0 | 48.8 | 32.6 | 25.2 | 31.2 | 34.8 | 28.1 | 33.7 | 53.5 | 55.2 | 51.2 | 51.2 | 52.2 | 48.2 | 49.2 | 47.1 | 46.7 | 47.5 | 49.1 | 49.0 | 64.8 |
| 2500 | 50.7 | 54.0 | 51.1 | 49.5 | 58.6 | 50.6 | 53.7 | 55.2 | 50.2 | 33.6 | 20.9 | 35.0 | 35.3 | 17.4 | 37.1 | 51.0 | 59.1 | 50.3 | 50.2 | 54.3 | 47.7 | 50.1 | 46.2 | 48.6 | 48.5 | 47.3 | 49.3 | 66.0 |
| 3150 | 50.7 | 54.1 | 48.3 | 52.3 | 57.9 | 51.5 | 51.2 | 53.7 | 48.2 | 32.6 | 17.1(-) | 31.2 | 30.3 | 28.4 | 30.4 | 52.3 | 56.4 | 49.8 | 49.9 | 52.6 | 47.3 | 47.4 | 46.2 | 47.3 | 46.4 | 47.2 | 48.3 | 65.0 |
| 4000 | 48.6 | 53.5 | 47.3 | 47.6 | 56.1 | 47.1 | 48.3 | 52.1 | 46.9 | 25.2 | 8.0 | 30.7 | 25.1 | 16.9 | 28.7 | 48.9 | 54.6 | 49.7 | 48.0 | 51.7 | 45.6 | 45.8 | 44.3 | 45.8 | 44.2 | 44.3 | 44.6 | 63.1 |
| 5000 | 46.4 | 51.8 | 45.6 | 45.8 | 54.3 | 47.0 | 46.1 | 50.4 | 44.9 | 19.2 | 14.9 | 28.8 | 23.4 | 19.1 | 28.4 | 46.4 | 52.0 | 45.3 | 45.2 | 49.9 | 43.1 | 43.5 | 42.8 | 43.7 | 42.7 | 43.3 | 43.0 | 61.1 |
| 6300 | 44.8 | 52.7 | 42.5 | 45.8 | 54.5 | 43.8 | 44.8 | 49.5 | 42.6 | 19.1 | 15.9 | 26.3 | 22.0 | 18.8 | 25.6 | 46.9 | 51.8 | 43.4 | 45.2 | 48.1 | 40.1 | 41.4 | 41.3 | 42.1 | 41.0 | 42.3 | 42.5 | 60.6 |
| 8000 | 44.4 | 49.7 | 40.5 | 44.5 | 51.2 | 42.2 | 43.0 | 49.3 | 40.4 | 18.8 | 16.2 | 24.2 | 19.8 | 16.6 | 25.7 | 44.8 | 49.0 | 41.7 | 42.9 | 45.2 | 38.2 | 39.7 | 38.4 | 40.4 | 38.8 | 40.3 | 40.5 | 58.2 |
| 10000 | 40.1 | 45.9 | 37.9 | 40.7 | 49.1 | 39.3 | 39.3 | 46.8 | 37.0 | 15.1 | 14.4 | 21.4 | 18.5 | 14.8 | 24.3 | 41.2 | 46.0 | 38.4 | 39.6 | 43.3 | 36.1 | 36.4 | 34.5 | 36.4 | 35.7 | 36.3 | 37.0 | 55.3 |
| L | 70.5 | 72.8 | 71.4 | 71.5 | 75.2 | 73.3 | 73.5 | 75.0 | 72.0 | 59.9 | 59.4 | 66.3 | 58.5 | 62.6 | 63.2 | 74.2 | 75.2 | 70.6 | 71.2 | 73.6 | 66.0 | 73.7 | 76.1 | 74.9 | 69.3 | 70.5 | 69.2 | 86.3 |

Tabla 7.2: Áreas de los elementos de superficie asociados a los 27 puntos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de intensidad y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz

**Capítulo 7. Medidas con la sonda intensidad para la obtención de la potencia
acústica de la fuente bajo ensayo.**

| Hz | Lp1 (dB) | Lp2 (dB) | Lp3 (dB) | Lp4 (dB) | Lp5 (dB) | Lp6 (dB) | Lp7 (dB) | Lp8 (dB) | Lp9 (dB) | Lp10 (dB) | Lp11 (dB) | Lp12 (dB) | Lp13 (dB) | Lp14 (dB) | Lp15 (dB) | Lp16 (dB) | Lp17 (dB) | Lp18 (dB) | Lp19 (dB) | Lp20 (dB) | Lp21 (dB) | Lp22 (dB) | Lp23 (dB) | Lp24 (dB) | Lp25 (dB) | Lp26 (dB) | Lp27 (dB) |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 125 | 57.7 | 66.0 | 61.7 | 56.9 | 67.0 | 61.0 | 56.9 | 63.7 | 59.7 | 60.3 | 56.2 | 65.9 | 57.5 | 56.5 | 63.8 | 63.4 | 66.2 | 67.2 | 57.7 | 63.1 | 62.8 | 70.1 | 74.2 | 72.4 | 65.2 | 69.6 | 67.4 |
| 160 | 67.3 | 69.8 | 65.0 | 65.1 | 70.1 | 63.5 | 63.9 | 70.7 | 62.6 | 59.8 | 63.6 | 65.3 | 55.5 | 66.0 | 58.3 | 73.8 | 74.1 | 70.5 | 64.2 | 72.4 | 57.1 | 71.3 | 74.4 | 72.2 | 65.9 | 67.8 | 65.6 |
| 200 | 68.2 | 72.5 | 72.5 | 66.3 | 71.3 | 74.0 | 65.1 | 70.4 | 71.1 | 60.7 | 62.1 | 65.7 | 60.7 | 61.3 | 59.9 | 69.1 | 71.4 | 72.9 | 64.9 | 69.5 | 65.0 | 72.2 | 77.6 | 75.7 | 63.5 | 67.1 | 67.1 |
| 250 | 64.2 | 65.9 | 67.4 | 67.2 | 66.0 | 69.6 | 68.3 | 68.4 | 69.0 | 56.2 | 55.5 | 59.5 | 57.1 | 55.5 | 57.8 | 68.0 | 67.8 | 69.6 | 68.7 | 69.7 | 67.1 | 68.2 | 71.7 | 69.4 | 63.9 | 66.4 | 64.7 |
| 315 | 67.3 | 64.0 | 62.1 | 66.8 | 66.9 | 60.1 | 65.8 | 64.6 | 62.1 | 55.7 | 49.8 | 52.9 | 53.9 | 51.6 | 55.9 | 63.9 | 67.2 | 61.1 | 64.9 | 67.5 | 61.5 | 61.0 | 64.9 | 62.7 | 57.8 | 61.8 | 60.4 |
| 400 | 67.9 | 64.0 | 64.2 | 68.1 | 72.3 | 70.1 | 68.8 | 62.6 | 62.4 | 52.4 | 55.7 | 59.3 | 49.3 | 51.6 | 58.3 | 65.4 | 71.3 | 63.6 | 66.3 | 64.5 | 64.3 | 63.6 | 70.3 | 65.4 | 62.8 | 71.1 | 67.2 |
| 500 | 62.1 | 61.6 | 60.9 | 63.6 | 66.7 | 65.5 | 65.5 | 65.0 | 63.0 | 50.9 | 50.6 | 52.6 | 49.0 | 50.1 | 53.4 | 64.1 | 66.4 | 60.9 | 64.5 | 65.3 | 64.1 | 64.8 | 63.3 | 60.7 | 62.7 | 64.6 | 60.3 |
| 630 | 61.0 | 66.3 | 66.2 | 66.8 | 67.4 | 66.0 | 73.0 | 74.2 | 71.5 | 52.0 | 52.5 | 47.7 | 50.1 | 55.5 | 52.7 | 69.4 | 65.9 | 65.1 | 73.3 | 73.6 | 67.2 | 72.8 | 64.1 | 62.4 | 70.1 | 60.4 | 59.7 |
| 800 | 60.5 | 63.8 | 60.5 | 64.0 | 65.4 | 61.9 | 64.2 | 64.5 | 61.8 | 51.9 | 44.4 | 47.0 | 52.6 | 47.7 | 49.2 | 63.7 | 63.5 | 62.2 | 64.4 | 64.1 | 62.1 | 62.2 | 58.2 | 59.1 | 60.9 | 62.5 | 60.8 |
| 1000 | 58.2 | 65.0 | 58.6 | 60.2 | 62.5 | 61.5 | 60.7 | 60.9 | 61.1 | 46.9 | 41.9 | 44.6 | 47.4 | 45.5 | 45.8 | 66.1 | 63.0 | 64.1 | 62.8 | 62.7 | 58.2 | 60.1 | 56.2 | 54.4 | 58.1 | 57.2 | 56.2 |
| 1250 | 58.6 | 61.3 | 55.9 | 63.0 | 63.4 | 58.7 | 60.6 | 60.4 | 57.7 | 43.8 | 41.5 | 41.2 | 44.2 | 42.3 | 42.9 | 66.1 | 61.3 | 59.8 | 63.6 | 65.1 | 56.4 | 58.5 | 52.5 | 52.7 | 56.0 | 54.0 | 54.6 |
| 1600 | 58.7 | 56.7 | 54.0 | 60.5 | 59.8 | 56.6 | 59.0 | 57.3 | 54.4 | 44.1 | 42.0 | 39.0 | 44.1 | 40.9 | 40.2 | 60.1 | 57.6 | 56.6 | 57.8 | 57.4 | 54.3 | 55.2 | 51.7 | 50.5 | 53.7 | 54.0 | 51.1 |
| 2000 | 57.2 | 57.4 | 55.2 | 55.9 | 59.7 | 55.6 | 57.0 | 56.3 | 53.6 | 41.4 | 38.6 | 38.2 | 42.5 | 39.3 | 40.4 | 57.7 | 58.3 | 56.1 | 56.6 | 56.7 | 54.6 | 54.1 | 51.3 | 51.1 | 53.0 | 52.9 | 53.1 |
| 2500 | 55.7 | 57.8 | 55.5 | 54.4 | 61.8 | 55.2 | 58.3 | 58.8 | 54.9 | 42.6 | 38.0 | 41.0 | 42.6 | 40.5 | 43.0 | 56.6 | 62.2 | 55.9 | 55.7 | 58.4 | 53.5 | 55.2 | 51.1 | 53.1 | 53.5 | 52.0 | 53.4 |
| 3150 | 55.4 | 58.3 | 53.3 | 57.1 | 61.4 | 56.3 | 55.8 | 57.7 | 53.0 | 40.5 | 38.7 | 39.2 | 40.1 | 39.4 | 38.9 | 56.9 | 59.8 | 55.3 | 55.3 | 56.8 | 53.0 | 53.0 | 51.2 | 52.3 | 51.5 | 51.5 | 52.7 |
| 4000 | 53.5 | 57.3 | 52.3 | 53.1 | 58.9 | 52.5 | 53.1 | 55.7 | 51.8 | 36.1 | 35.0 | 37.9 | 37.2 | 40.1 | 37.6 | 54.0 | 57.8 | 55.5 | 53.6 | 55.7 | 51.6 | 51.7 | 49.6 | 51.2 | 49.6 | 49.1 | 49.4 |
| 5000 | 51.3 | 55.6 | 50.8 | 51.1 | 57.8 | 51.7 | 51.1 | 54.6 | 49.8 | 32.3 | 32.2 | 35.8 | 35.5 | 35.8 | 36.3 | 52.0 | 56.2 | 51.8 | 51.7 | 54.1 | 49.7 | 50.0 | 49.0 | 49.4 | 48.5 | 48.8 | 48.1 |
| 6300 | 49.8 | 56.3 | 48.1 | 50.7 | 57.4 | 49.7 | 50.3 | 53.4 | 48.1 | 31.1 | 31.8 | 33.8 | 32.9 | 32.1 | 34.1 | 51.5 | 54.8 | 50.0 | 50.7 | 52.4 | 47.5 | 48.0 | 46.8 | 47.3 | 46.7 | 46.7 | 46.8 |
| 8000 | 48.2 | 53.2 | 45.9 | 48.7 | 54.0 | 47.3 | 48.2 | 53.4 | 45.7 | 29.8 | 30.2 | 32.7 | 31.1 | 29.9 | 33.6 | 49.4 | 52.5 | 48.1 | 48.3 | 49.5 | 45.3 | 46.3 | 44.1 | 45.7 | 44.4 | 44.7 | 44.8 |
| 10000 | 44.5 | 48.8 | 43.0 | 44.9 | 50.9 | 44.3 | 44.3 | 50.3 | 42.5 | 27.1 | 27.5 | 29.9 | 28.8 | 27.7 | 32.5 | 45.7 | 48.5 | 44.9 | 44.9 | 46.7 | 42.7 | 43.1 | 40.0 | 41.1 | 41.2 | 40.5 | 40.4 |
| L | 75.4 | 77.5 | 76.1 | 76.0 | 79.0 | 78.0 | 77.5 | 78.7 | 76.8 | 66.8 | 67.4 | 71.3 | 65.4 | 68.5 | 68.0 | 78.5 | 79.4 | 77.8 | 77.3 | 79.2 | 74.3 | 78.9 | 81.6 | 79.6 | 74.7 | 76.7 | 74.5 |

Tabla 7.3: Niveles de presión acústica en los 27 puntos de medida

**Capítulo 7. Medidas con la sonda intensidad para la obtención de la potencia
acústica de la fuente bajo ensayo.**

| | LW1 | LW2 | LW3 | LW4 | LW5 | LW6 | LW7 | LW8 | LW9 | LW10 | LW11 | LW12 | LW13 | LW14 | LW15 | LW16 | LW17 | LW18 | LW19 | LW20 | LW21 | LW22 | LW23 | LW24 | LW25 | LW26 | LW27 | LWT |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|------|
| Hz | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | |
| | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | | |
| 125 | 55.4 | 63.8 | 59.4 | 54.7 | 64.8 | 58.7 | 54.7 | 61.5 | 57.4 | 58.0 | 53.9 | 63.6 | 55.2 | 54.2 | 61.5 | 61.1 | 63.9 | 64.9 | 55.4 | 60.8 | 60.5 | 67.2 | 71.2 | 69.5 | 62.3 | 66.7 | 64.5 | 77.9 |
| 160 | 65.0 | 67.5 | 62.7 | 62.8 | 67.9 | 61.3 | 61.7 | 68.5 | 60.3 | 57.5 | 61.3 | 63.0 | 53.2 | 63.7 | 56.0 | 71.5 | 71.8 | 68.2 | 61.9 | 70.1 | 54.7 | 68.3 | 71.4 | 69.3 | 62.9 | 64.9 | 62.7 | 80.8 |
| 200 | 66.0 | 70.2 | 70.2 | 64.1 | 69.0 | 71.8 | 62.8 | 68.2 | 68.9 | 58.4 | 59.8 | 63.4 | 58.4 | 59.0 | 57.6 | 66.8 | 69.1 | 70.6 | 62.6 | 67.2 | 62.7 | 69.3 | 74.7 | 72.8 | 60.6 | 64.2 | 64.2 | 82.3 |
| 250 | 62.0 | 63.6 | 65.2 | 65.0 | 63.7 | 67.3 | 66.1 | 66.1 | 66.8 | 53.9 | 53.2 | 57.2 | 54.8 | 53.2 | 55.5 | 65.7 | 65.5 | 67.3 | 66.4 | 67.4 | 64.8 | 65.3 | 68.8 | 66.5 | 61.0 | 63.5 | 61.8 | 79.0 |
| 315 | 65.0 | 61.8 | 59.9 | 64.5 | 64.6 | 57.8 | 63.5 | 62.4 | 59.9 | 53.4 | 47.5 | 50.6 | 51.6 | 49.3 | 53.6 | 61.6 | 64.9 | 58.8 | 62.6 | 65.2 | 59.2 | 58.1 | 62.0 | 59.7 | 54.8 | 58.9 | 57.5 | 75.3 |
| 400 | 65.6 | 61.8 | 61.9 | 65.8 | 70.1 | 67.9 | 66.5 | 60.3 | 60.2 | 50.0 | 53.4 | 57.0 | 46.9 | 49.3 | 56.0 | 63.1 | 69.0 | 61.2 | 64.0 | 62.2 | 62.0 | 60.7 | 67.4 | 62.5 | 59.9 | 68.2 | 64.3 | 78.5 |
| 500 | 59.8 | 59.3 | 58.6 | 61.4 | 64.4 | 63.2 | 63.2 | 62.8 | 60.8 | 48.6 | 48.3 | 50.3 | 46.7 | 47.8 | 51.1 | 61.7 | 64.1 | 58.6 | 62.2 | 63.0 | 61.8 | 61.9 | 60.4 | 57.8 | 59.8 | 61.6 | 57.4 | 74.9 |
| 630 | 58.8 | 64.0 | 63.9 | 64.5 | 65.1 | 63.8 | 70.8 | 72.0 | 69.3 | 49.7 | 50.2 | 45.4 | 47.8 | 53.2 | 50.3 | 67.1 | 63.6 | 62.8 | 70.9 | 71.3 | 64.9 | 69.9 | 61.2 | 59.5 | 67.2 | 57.4 | 56.8 | 80.3 |
| 800 | 58.2 | 61.5 | 58.2 | 61.7 | 63.2 | 59.6 | 61.9 | 62.2 | 59.5 | 49.6 | 42.1 | 44.7 | 50.3 | 45.4 | 46.9 | 61.4 | 61.2 | 59.9 | 62.1 | 61.8 | 59.8 | 59.3 | 55.3 | 56.2 | 58.0 | 59.5 | 57.9 | 73.6 |
| 1000 | 56.0 | 62.7 | 56.4 | 58.0 | 60.3 | 59.3 | 58.5 | 58.6 | 58.8 | 44.6 | 39.6 | 42.3 | 45.0 | 43.2 | 43.5 | 63.8 | 60.7 | 61.8 | 60.5 | 60.4 | 55.9 | 57.2 | 53.3 | 51.5 | 55.2 | 54.3 | 53.3 | 72.3 |
| 1250 | 56.3 | 59.0 | 53.7 | 60.7 | 61.1 | 56.4 | 58.4 | 58.1 | 55.5 | 41.5 | 39.2 | 38.8 | 41.9 | 40.0 | 40.6 | 63.8 | 59.0 | 57.5 | 61.3 | 62.8 | 54.1 | 55.5 | 49.6 | 49.8 | 53.1 | 51.1 | 51.7 | 71.6 |
| 1600 | 56.4 | 54.4 | 51.8 | 58.3 | 57.5 | 54.4 | 56.8 | 55.1 | 52.2 | 41.8 | 39.7 | 36.7 | 41.8 | 38.6 | 37.9 | 57.8 | 55.3 | 54.3 | 55.5 | 55.0 | 52.0 | 52.2 | 48.8 | 47.5 | 50.8 | 51.1 | 48.2 | 67.8 |
| 2000 | 55.0 | 55.1 | 52.9 | 53.6 | 57.4 | 53.3 | 54.8 | 54.0 | 51.4 | 39.1 | 36.3 | 35.9 | 40.2 | 37.0 | 38.0 | 55.4 | 55.9 | 53.8 | 54.3 | 54.4 | 52.3 | 51.2 | 48.4 | 48.2 | 50.1 | 50.0 | 50.2 | 66.8 |
| 2500 | 53.4 | 55.5 | 53.2 | 52.1 | 59.5 | 53.0 | 56.1 | 56.5 | 52.7 | 40.3 | 35.7 | 38.6 | 40.2 | 38.1 | 40.7 | 54.3 | 59.9 | 53.6 | 53.4 | 56.1 | 51.2 | 52.3 | 48.2 | 50.1 | 50.6 | 49.1 | 50.5 | 67.8 |
| 3150 | 53.2 | 56.0 | 51.0 | 54.9 | 59.1 | 54.1 | 53.6 | 55.5 | 50.8 | 38.2 | 36.4 | 36.9 | 37.8 | 37.1 | 36.6 | 54.6 | 57.5 | 53.0 | 53.0 | 54.5 | 50.7 | 50.1 | 48.3 | 49.4 | 48.6 | 48.6 | 49.8 | 67.0 |
| 4000 | 51.2 | 55.1 | 50.1 | 50.8 | 56.7 | 50.2 | 50.8 | 53.5 | 49.6 | 33.7 | 32.7 | 35.6 | 34.9 | 37.8 | 35.3 | 51.7 | 55.4 | 53.2 | 51.3 | 53.4 | 49.3 | 48.8 | 46.7 | 48.3 | 46.7 | 46.1 | 46.5 | 65.0 |
| 5000 | 49.1 | 53.3 | 48.6 | 48.9 | 55.5 | 49.5 | 48.9 | 52.3 | 47.5 | 30.0 | 29.9 | 33.5 | 33.1 | 33.5 | 34.0 | 49.7 | 53.9 | 49.5 | 49.4 | 51.8 | 47.4 | 47.1 | 46.1 | 46.5 | 45.6 | 45.9 | 45.2 | 63.4 |
| 6300 | 47.6 | 54.1 | 45.9 | 48.4 | 55.1 | 47.5 | 48.0 | 51.1 | 45.9 | 28.8 | 29.5 | 31.5 | 30.6 | 29.8 | 31.8 | 49.1 | 52.5 | 47.7 | 48.4 | 50.1 | 45.2 | 45.0 | 43.9 | 44.4 | 43.8 | 43.8 | 43.9 | 62.4 |
| 8000 | 45.9 | 50.9 | 43.7 | 46.5 | 51.7 | 45.1 | 46.0 | 51.2 | 43.5 | 27.5 | 27.9 | 30.4 | 28.8 | 27.6 | 31.3 | 47.1 | 50.2 | 45.8 | 46.0 | 47.2 | 43.0 | 43.4 | 41.2 | 42.8 | 41.5 | 41.8 | 41.9 | 60.1 |
| 10000 | 42.2 | 46.5 | 40.8 | 42.6 | 48.7 | 42.1 | 42.1 | 48.0 | 40.2 | 24.8 | 25.2 | 27.6 | 26.5 | 25.4 | 30.2 | 43.4 | 46.2 | 42.6 | 42.6 | 44.4 | 40.4 | 40.2 | 37.1 | 38.2 | 38.3 | 37.6 | 37.5 | 56.6 |
| L | 73.1 | 75.3 | 73.9 | 73.8 | 76.7 | 75.7 | 75.2 | 76.5 | 74.6 | 64.5 | 65.1 | 68.9 | 63.1 | 66.2 | 65.7 | 76.2 | 77.1 | 75.5 | 75.0 | 76.9 | 71.9 | 76.0 | 78.7 | 76.7 | 71.8 | 73.8 | 71.6 | 88.8 |

Tabla 7.4: Áreas de los elementos de superficie asociados a los 27 puntos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de presión y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz

Capítulo 7. Medidas con la sonda intensidad para la obtención de la potencia acústica de la fuente bajo ensayo.

Por otro lado, las Figuras 7.5 y 7.6 muestran las diferencias entre los niveles de potencia acústica calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad para las frecuencias de 125 a 10000 Hz y los niveles globales en los 27 puntos respectivamente.

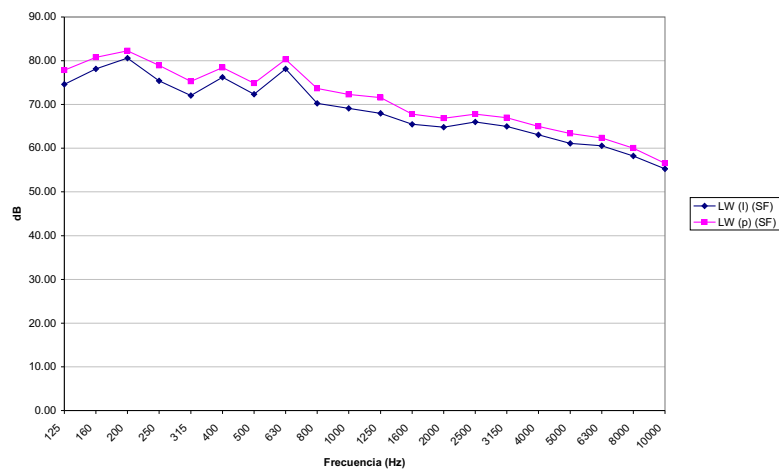


Figura 7.5: Niveles de potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad

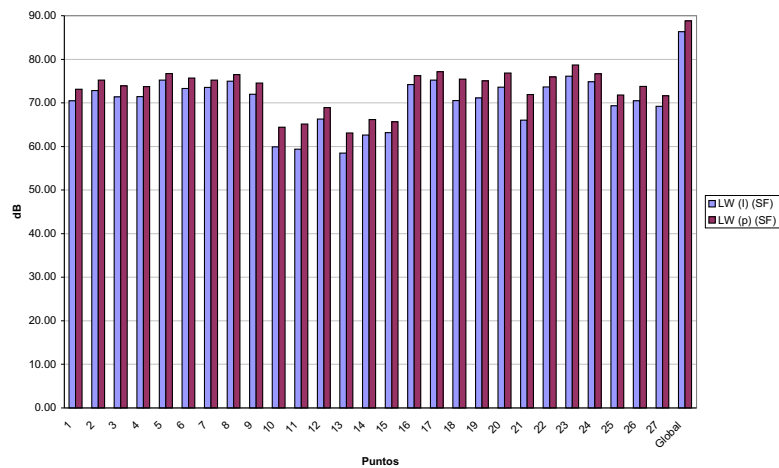


Figura 7.6: Niveles de potencia global en cada una de las 27 subáreas y nivel de potencia global de la fuente bajo ensayo

Capítulo 7. Medidas con la sonda intensidad para la obtención de la potencia acústica de la fuente bajo ensayo.

Tal como se indicó en el apartado 3.4.1, la incertidumbre en la determinación del nivel de potencia acústica de una fuente de ruido está relacionada con la naturaleza del campo sonoro de la fuente, con la naturaleza del campo sonoro parásito, con la absorción de la fuente bajo ensayo y con el tipo de muestreo del campo de intensidad y el procedimiento de medida empleado.

Así, la norma especifica procedimientos y criterios para la evaluación de indicadores de la naturaleza del campo acústico que existe en la región de la superficie de medida propuesta. De esta forma, se puede verificar la calidad de la determinación de la potencia acústica y por tanto el grado de precisión, comprobando la adecuación de la instrumentación y de los parámetros de medida elegidos (superficie de medida, distancia, posición del micrófono...) en relación al campo acústico y las condiciones ambientales correspondientes a la medida específica en cada caso.

En primer lugar, se comprobará el índice de variabilidad temporal del campo acústico, $F1$, dado por la ecuación (3.22). El cálculo de este índice se realizó en la posición 4 de la superficie de medida, tomando $M = 10$ muestras durante un periodo corto de tiempo igual a 15 s (Tabla 7.5).

Los valores de F_1 obtenidos se muestran en la Tabla 7.6, verificándose que dichos valores son muy inferiores al límite de 0.6 que indica la norma.

**Capítulo 7. Medidas con la sonda intensidad para la obtención de la potencia
acústica de la fuente bajo ensayo.**

| Medidas de Intensidad en la Posición 4 (M = 10) | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Frecuencia (Hz) | I_{n1} (W/m ²) | I_{n2} (W/m ²) | I_{n3} (W/m ²) | I_{n4} (W/m ²) | I_{n5} (W/m ²) | I_{n6} (W/m ²) | I_{n7} (W/m ²) | I_{n8} (W/m ²) | I_{n9} (W/m ²) | I_{n10} (W/m ²) |
| 125 | 3.33E-07 | 2.88E-07 | 2.99E-07 | 3.57E-07 | 2.42E-07 | 3.79E-07 | 3.08E-07 | 3.59E-07 | 2.62E-07 | 3.96E-07 |
| 160 | 2.18E-06 | 1.86E-06 | 1.97E-06 | 2.34E-06 | 1.55E-06 | 2.52E-06 | 2.01E-06 | 2.43E-06 | 1.70E-06 | 2.65E-06 |
| 200 | 3.49E-06 | 3.02E-06 | 3.23E-06 | 3.74E-06 | 2.56E-06 | 4.06E-06 | 3.26E-06 | 4.06E-06 | 2.77E-06 | 4.29E-06 |
| 250 | 2.94E-06 | 2.49E-06 | 2.65E-06 | 3.19E-06 | 2.06E-06 | 3.38E-06 | 2.74E-06 | 3.37E-06 | 2.31E-06 | 3.56E-06 |
| 315 | 3.71E-06 | 3.19E-06 | 3.35E-06 | 4.04E-06 | 2.64E-06 | 4.30E-06 | 3.42E-06 | 4.13E-06 | 2.90E-06 | 4.48E-06 |
| 400 | 2.24E-06 | 1.92E-06 | 2.03E-06 | 2.44E-06 | 1.59E-06 | 2.61E-06 | 2.08E-06 | 2.51E-06 | 1.76E-06 | 2.73E-06 |
| 500 | 1.26E-06 | 1.10E-06 | 1.17E-06 | 1.31E-06 | 9.42E-07 | 1.44E-06 | 1.17E-06 | 1.48E-06 | 1.00E-06 | 1.51E-06 |
| 630 | 2.46E-06 | 2.13E-06 | 2.32E-06 | 2.58E-06 | 1.82E-06 | 2.88E-06 | 2.29E-06 | 2.96E-06 | 1.95E-06 | 3.01E-06 |
| 800 | 7.62E-07 | 6.72E-07 | 7.04E-07 | 8.04E-07 | 5.71E-07 | 8.74E-07 | 7.09E-07 | 8.56E-07 | 6.09E-07 | 9.20E-07 |
| 1000 | 6.30E-07 | 5.42E-07 | 5.70E-07 | 6.89E-07 | 4.42E-07 | 7.42E-07 | 5.83E-07 | 7.05E-07 | 4.93E-07 | 7.68E-07 |
| 1250 | 8.69E-07 | 7.36E-07 | 7.74E-07 | 9.57E-07 | 6.01E-07 | 1.01E-06 | 8.11E-07 | 9.55E-07 | 6.73E-07 | 1.06E-06 |
| 1600 | 6.78E-07 | 5.60E-07 | 6.03E-07 | 7.40E-07 | 4.56E-07 | 7.85E-07 | 6.29E-07 | 7.74E-07 | 5.20E-07 | 8.13E-07 |
| 2000 | 2.22E-07 | 1.89E-07 | 1.95E-07 | 2.42E-07 | 1.53E-07 | 2.55E-07 | 2.06E-07 | 2.41E-07 | 1.73E-07 | 2.64E-07 |
| 2500 | 1.42E-07 | 1.23E-07 | 1.25E-07 | 1.55E-07 | 1.00E-07 | 1.62E-07 | 1.31E-07 | 1.51E-07 | 1.10E-07 | 1.69E-07 |
| 3150 | 2.70E-07 | 2.28E-07 | 2.42E-07 | 2.94E-07 | 1.88E-07 | 3.15E-07 | 2.52E-07 | 3.05E-07 | 2.10E-07 | 3.26E-07 |
| 4000 | 9.18E-08 | 7.80E-08 | 7.96E-08 | 1.01E-07 | 6.27E-08 | 1.06E-07 | 8.55E-08 | 9.70E-08 | 7.10E-08 | 1.10E-07 |
| 5000 | 6.08E-08 | 5.41E-08 | 5.48E-08 | 6.44E-08 | 4.51E-08 | 7.04E-08 | 5.61E-08 | 6.59E-08 | 4.83E-08 | 7.29E-08 |
| 6300 | 6.08E-08 | 5.43E-08 | 5.55E-08 | 6.40E-08 | 4.61E-08 | 6.96E-08 | 5.63E-08 | 6.77E-08 | 4.90E-08 | 7.22E-08 |
| 8000 | 4.44E-08 | 3.94E-08 | 4.13E-08 | 4.65E-08 | 3.38E-08 | 5.12E-08 | 4.13E-08 | 5.19E-08 | 3.55E-08 | 5.33E-08 |
| 10000 | 1.87E-08 | 1.62E-08 | 1.67E-08 | 2.01E-08 | 1.34E-08 | 2.14E-08 | 1.73E-08 | 2.02E-08 | 1.48E-08 | 2.23E-08 |
| L | 2.25E-05 | 1.93E-05 | 2.05E-05 | 2.42E-05 | 1.61E-05 | 2.60E-05 | 2.08E-05 | 2.56E-05 | 1.77E-05 | 2.73E-05 |

Tabla 7.5: Medidas de intensidad acústica en la posición 4 de micrófono sobre la superficie de medida para la obtención del Indicador F_1

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Hz | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 |
| F_1 | 0.16 | 0.17 | 0.17 | 0.18 | 0.17 | 0.17 | 0.16 | 0.17 | 0.15 | 0.18 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Hz | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 |
| F_1 | 0.18 | 0.19 | 0.17 | 0.17 | 0.18 | 0.18 | 0.16 | 0.15 | 0.16 | 0.16 |

Tabla 7.6: Indicadores de variabilidad temporal del campo acústico para las frecuencias de 125 a 10000 Hz

Capítulo 7. Medidas con la sonda intensidad para la obtención de la potencia acústica de la fuente bajo ensayo.

Seguidamente, se continua con la adecuación del equipo de medida aplicando el *criterio 1* que indica la norma en su Anexo B, que dice que para que un conjunto de posiciones de medida sea calificado como apropiado, en cada banda de frecuencia, el índice de capacidad dinámica L_d de la instrumentación de medida debe ser mayor que el indicador de Presión-Intensidad en la superficie, F_2 , dado por la ecuación (3.24).

En el apartado 4.3, ya se obtuvo el índice de capacidad dinámica del equipo para el proceso de calibración. Para la utilización ahora del L_d en las comprobaciones de la norma, se tiene que tener en cuenta que el índice de presión-intensidad residual que nos da el equipo es diferente en ambos casos. Así, en la calibración, con la utilización del acoplador, se tenía una separación entre los micrófonos de 50 mm, en cambio, en las medidas de intensidad se tiene un espaciador de 12 mm, con lo que finalmente el índice de capacidad dinámica disminuye un determinado factor en todas la frecuencias.

Una vez se tiene la curva del índice de capacidad dinámica, L_d , se debe verificar que dicho índice es mayor que el indicador de Presión-Intensidad en la superficie, F_2 Figura 7.7. Además, en esta gráfica se ha representado la resta del factor F_3 y F_2 , que al no superar los 3 dB, es indicativo de que en las proximidades de la fuente bajo ensayo no existen fuentes parásitas altamente direccionales. Los valores numéricos de los índices de capacidad dinámica y de los factores F_2 y F_3 se muestran en la Tabla 7.7.

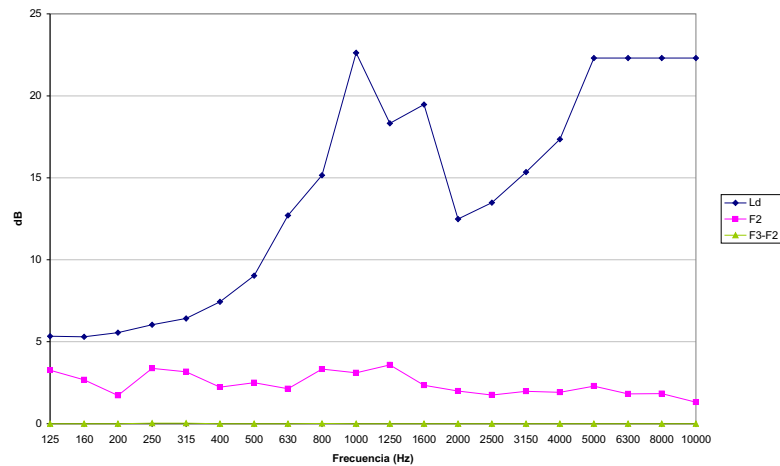


Figura 7.7: Índice de capacidad dinámica, indicador de Presión-Intensidad en la superficie, e indicador de potencia parcial negativa, para las 27 medidas realizadas con la sonda de intensidad y el espaciador de 12 mm

**Capítulo 7. Medidas con la sonda intensidad para la obtención de la potencia
acústica de la fuente bajo ensayo.**

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| Hz | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 |
| L_d | 5.33 | 5.31 | 5.55 | 6.04 | 6.42 | 7.43 | 9.03 | 12.71 | 15.16 | 22.62 |
| F_2 | 3.26 | 2.68 | 1.72 | 3.38 | 3.16 | 2.23 | 2.50 | 2.14 | 3.33 | 3.10 |
| F_3 | 3.26 | 2.68 | 1.72 | 3.42 | 3.20 | 2.24 | 2.50 | 2.14 | 3.35 | 3.11 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Hz | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 |
| L_d | 18.33 | 19.47 | 12.49 | 13.48 | 15.35 | 17.36 | 22.31 | 22.31 | 22.31 | 22.31 |
| F_2 | 3.58 | 2.35 | 1.99 | 1.75 | 1.98 | 1.91 | 2.29 | 1.81 | 1.83 | 1.30 |
| F_3 | 3.58 | 2.35 | 1.99 | 1.75 | 1.98 | 1.91 | 2.29 | 1.81 | 1.83 | 1.30 |

Tabla 7.7: Valores numéricos del Índice de capacidad dinámica, L_d , del indicador de Presión-Intensidad en la superficie, F_2 , y del indicador de potencia parcial negativa, F_3 para las frecuencias de 125 a 10000 Hz, obtenidos con la sonda de intensidad y el espaciador de 12 mm

Hasta el momento, para el caso de estudio, se han calculado los indicadores F_1 , F_2 y F_3 y se ha seguido el procedimiento que indica la *Fig. B.1* de la norma (*Figura 3.3*), sin tener que aplicar ninguna acción correctora de la *Tabla B.3* de la norma (*Figura 3.2*).

Llegados a este punto, la norma indica otros indicadores que se ven afectados por la condiciones especiales de la fuente y otras comprobaciones que no son aplicables por las características de este caso de estudio. De esta forma, no se pueden aplicar las correcciones que exige la normativa por ruido de fondo ni por entorno debido a que no se puede apagar la fuente ni quitarla de su ubicación. De igual manera, tampoco se puede evaluar la influencia de los paneles absorbentes cercanos a la fuente aplicando el método especificado ya que no es posible colocar una fuente emisora normalizada en lugar de la fuente bajo estudio.

Todo esto, unido a que los resultados de la potencia total calculada por presión y por intensidad con la sonda de intensidad son bastante distintos (86.3 y 88.8 dB respectivamente), hace que no se pueda obtener el nivel de potencia acústica de la fuente con una fiabilidad suficiente.

Así, con la premisa de no poder aplicar en este caso la normativa, surge la motivación para realizar un estudio de investigación que profundice en este caso particular y así plantear un método alternativo para la obtención de los niveles de potencia acústica de la fuente bajo ensayo con unos límites aceptables de incertidumbre.

7.3. Planteamiento de un método alternativo a la normativa para el cálculo de la potencia acústica de la fuente.

El estudio alternativo a la aplicación de la normativa, buscará a partir de medidas con la sonda de intensidad en diferentes entornos, una relación entre parámetros que permita obtener la potencia acústica de la fuente bajo ensayo con unos límites aceptables de incertidumbre.

Hay que comentar que con el método alternativo que se va a plantear, los paneles absorbentes no hacen variar la potencia acústica del equipo medioambiental que se quiere calcular, debido a que se incluyen en la definición de fuente global que se hace, mientras que en la normativa cuando hace referencia a materiales absorbentes que influyen en la medida, los trata como elementos externos a la fuente y por tanto absorben parte de la potencia que se quiere calcular.

En cambio, hay que decir que para nuestro caso de estudio, los paneles afectan porque absorben parte de la potencia ambiental que llega. Es decir, midiendo con intensidad acústica, si no hubiera absorción en el interior de la superficie de medida, toda la potencia ambiental que entra, sale y, por tanto, no cuenta; pero si hay absorción, toda la que entra no sale, disminuyendo por tanto el resultado de la potencia calculada respecto a la real de la fuente.

Con el planteamiento de este método alternativo, además de la obtención de los niveles de potencia acústica de la fuente bajo ensayo, se determinarán los coeficientes de absorción para las distintas frecuencias de estudio de los paneles absorbentes y la influencia del ruido externo sobre la superficie de medida.

Capítulo 8

Método complementario a la normativa.

8.1. Introducción.

Como ya se ha comentado en apartados anteriores de esta tesis, se pretende obtener los niveles de potencia acústica de una fuente sonora mediante medidas “in situ” para un caso en el cual la normativa vigente no puede asegurar unos límites aceptables de incertidumbre por estar la fuente sonora influenciada por ruido de fondo y por el entorno de ensayo al existir superficies absorbentes en el interior de la superficie de medida, y no poder evaluar su contribución.

De esta forma, en este capítulo se va a exponer un método complementario a la normativa vigente basado en mediciones con la sonda de intensidad sobre una superficie de medida definida sobre la fuente en varios entornos de ensayo diferentes, para intentar dar solución al caso de estudio que se está evaluando.

8.2. Balances de potencias

Antes de hacer el planteamiento teórico de problema, se analizarán dos balances de potencia que después se utilizarán en la fuente bajo ensayo.

De esta manera, el primero se realizará para obtener la influencia del entorno, W_{amb} , en la superficie de medida definida, y en el segundo se verá la influencia de una fuente conocida, externa a la superficie de medida.

8.2.1. Balance de la potencia procedente del ruido ambiental

En primer lugar, se introducen los elementos que van tomar parte en el balance de potencias. De esta forma, se tiene:

- W_{amb} : Potencia acústica total que entra en el volumen de medida considerada positiva.
- f_s : Proporción de W_{amb} que choca con la superficie absorbente y que, suponiendo un campo difuso en el ambiente, se igualará a la proporción entre la superficie absorbente y la total (relación de superficies que es conocida).
- α : Coeficiente de absorción.

Con ello, el flujo de potencia procedente del exterior en la superficie de medida estaría representado por el esquema de la (Figura 8.1).

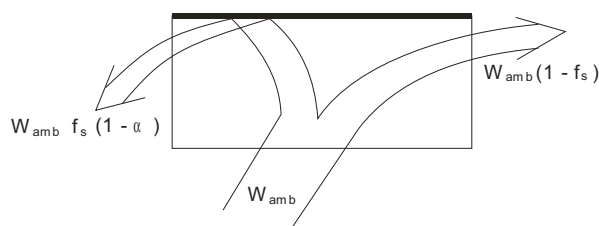


Figura 8.1: Ejemplo de balance de la potencia procedente del ruido ambiental

Al medir con intensidad este balance de potencias, como la sonda debe apuntar hacia la fuente sonora y estar perpendicular al plano donde se encuentran los puntos de medición, la potencia que llega por la parte trasera de la sonda se considera con signo negativo, y con signo positivo la de la parte delantera, quedando como resultado:

$$\Sigma W_{aI} = -W_{amb} + W_{amb} \cdot (1 - f_s) + W_{amb} \cdot f_s \cdot (1 - \alpha) = -W_{amb} \cdot f_s \cdot \alpha \quad (8.1)$$

Ahora, midiendo este balance de potencias, mediante presión en lugar de intensidad toda la potencia que llegue a un punto de medida, ya sea por la parte trasera o por la parte delantera de la sonda, sumará potencia, con lo que siempre se considerará con signo positivo. Así, se tiene:

$$\Sigma W_{aP} = W_{amb} + W_{amb} \cdot (1 - f_s) + W_{amb} \cdot f_s \cdot (1 - \alpha) = W_{amb} \cdot (2 - f_s \cdot \alpha) \quad (8.2)$$

8.2.2. Balance de la potencia procedente de una fuente externa conocida

A continuación, se plantea el balance de la potencia que, procedente de una fuente externa conocida, atraviesa la superficie de medida. Para ello se toma como ejemplo 3 rayos sonoros que, saliendo de la fuente, atraviesan la superficie de medida en los puntos 1 a 6. Siendo W_j la potencia que atraviesa la superficie asignada a cada uno de esos puntos, indicándose además con un subíndice "d" si el rayo llega directamente de la fuente (o reflejado en el suelo rígido), y con un "r" si llega después de impactar sobre la superficie absorbente (*Figura 8.2*).

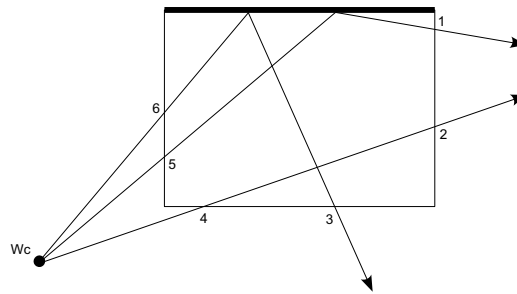


Figura 8.2: Ejemplo de balance de la potencia procedente de una fuente externa conocida

Así, el balance de estas potencias, medido con intensidad, con el mismo criterio anterior de considerar positivas las salientes, y negativas las entrantes quedará:

$$\begin{aligned}\Sigma W_c &= W_{1r} \cdot (1 - \alpha) + W_{2d} + W_{3r} \cdot (1 - \alpha) - W_{4d} - W_{5d} - W_{6d} = \\ &= (W_{2d} - W_{4d} - W_{5d} - W_{6d}) + (W_{1r} + W_{3r}) \cdot (1 - \alpha) = \\ &= W_{Id} + W_{Ir} \cdot (1 - \alpha)\end{aligned}\tag{8.3}$$

Donde:

- W_{Id} es la potencia acústica total que atraviesa cualquier superficie del volumen de medida, considerando su signo, proviniendo de la fuente directa y la reflejada en el suelo, que se considera como directa.
- W_{Ir} es la potencia acústica total que atraviesa cualquier superficie del volumen de medida, considerando su signo, proviniendo de la fuente y reflejada en la superficie absorbente y la doble (superficie absorbente + el suelo), suponiendo el coeficiente del suelo: $\alpha_s = 0$.

Finalmente, comentar que la potencia de una fuente que se encuentra en el interior de las superficie de medida tendrá signo positivo ya sea para el caso de medidas de intensidad o de presión acústica.

8.3. Planteamiento teórico del problema.

Una vez vistos los dos ejemplos anteriores sobre el tratamiento de la potencia ambiental y la potencia de una fuente externa para medidas de intensidad y presión, se puede apreciar como para resolver el problema de la obtención de la potencia acústica de la fuente bajo ensayo se tendría a priori tres incógnitas que serían: la potencia de la fuente W , la potencia ambiental W_{amb} , y el coeficiente de absorción de los paneles α .

Llegados a este punto, cabe comentar que para la obtención de la absorción de los paneles acústicos, se barajó la posibilidad de utilizar datos teóricos, pero se descartó por: no encontrar datos fiables del material de estudio, por considerar que no era creíble la suposición de que el campo incidente fuese difuso, y sobre todo, porque se pretendía probar un método que se pudiese aplicar aun cuando no se supiera nada del material absorbente existente.

La *Figura 8.3* muestra las tres incógnitas del planteamiento teórico del problema.

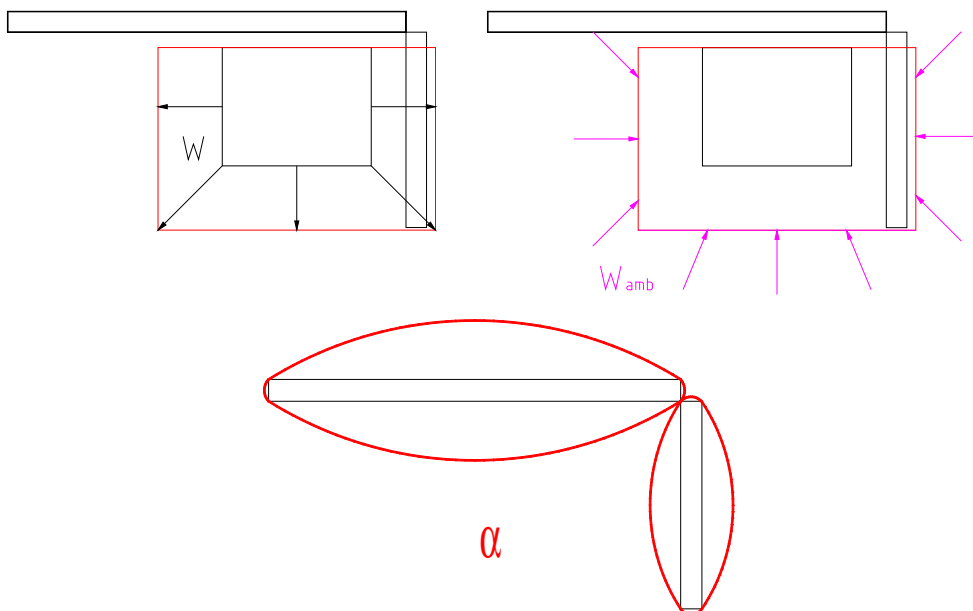


Figura 8.3: Incógnitas del planteamiento teórico del problema: W , W_{amb} y α

Así, para el planteamiento teórico del problema se necesita tener tres ecuaciones en el balance de potencias que se efectúe. La primera y segunda ecuación del balance de potencias vienen dadas por las medidas con la sonda, de intensidad, $WI_{(SF)}$, y presión acústica, $Wp_{(SF)}$, en la superficie de medida. Finalmente, para obtener la tercera ecuación se plantean medidas de intensidad acústica en presencia de una fuente sonora omnidireccional de potencia conocida y externa a la superficie de medida, $WI_{(CF)}$.

Como se ha comentado, la primera ecuación del balance de potencias caracteriza la potencia total en la superficie de medida midiendo intensidad acústica. Así, como se vio en el ejemplo 1 de aplicación de balances de potencias, esta potencia vendrá dada en función de: la potencia ambiental generada por la fuentes sonoras no conocidas externas a la superficie de medida W_{amb} , el coeficiente de absorción de los paneles absorbentes α , el factor que relaciona las superficies absorbentes con la superficie total de la superficie de medida f_s , más ahora la influencia de la potencia de la fuente bajo ensayo W . De esta forma, la potencia $WI_{(SF)}$ viene dada por la ecuación (8.4).

$$WI_{(SF)} = W_i = W - W_{amb} \cdot f_s \cdot \alpha \quad (8.4)$$

La segunda ecuación, parte también del mismo entorno de medida que la anterior situación, salvo que en este caso se hace un balance de la potencia total en la superficie de medida midiendo presión acústica. De esta forma, tomando también como referencia el ejemplo 1 de aplicación de balances de potencias para el caso de medidas de presión acústica y considerando la potencia de la fuente bajo ensayo W , se obtiene la expresión de la potencia $Wp_{(SF)}$, ecuación (8.5).

$$Wp_{(SF)} = W_p = W \cdot \Delta_{cos} + W_{amb} \cdot (2 - f_s \cdot \alpha) \quad (8.5)$$

Donde, además de W , W_{amb} , α y f_s definidos anteriormente, aparece un nuevo elemento:

- Δ_{cos} es el factor diferencia entre el resultado de medir la potencia mediante presión y mediante intensidad, que es función del ángulo (de su coseno) que forma en cada punto el vector intensidad con la perpendicular a la superficie de medida.

La tercera ecuación, considera la potencia total en la superficie de medida midiendo intensidad acústica con la presencia de una fuente externa conocida. En este caso, utilizando las expresiones de los ejemplos 1 y 2 de aplicación de balances de potencia, junto a la potencia de la fuente sonora bajo ensayo W , se tiene que la potencia $WI_{(CF)}$ viene dada por la ecuación (8.6).

$$WI_{(CF)} = W_i^+ = W - W_{amb} \cdot f_s \cdot \alpha + W_{Id} + W_{Ir} \cdot (1 - \alpha) \quad (8.6)$$

Así, con estas tres ecuaciones planteadas, se pretende averiguar W , W_{amb} y α .

Para comenzar, se resta la ecuación (8.6) de (8.4), obteniendo:

$$W_i^+ - W_i = W_{Id} + W_{Ir} \cdot (1 - \alpha) \quad (8.7)$$

Expresión de la que se puede despejar α :

$$\alpha = 1 - \left(\frac{W_i^+ - W_i - W_{Id}}{W_{Ir}} \right) \quad (8.8)$$

Por otro lado, de la ecuación (8.5) se puede obtener W_{amb} :

$$W_{amb} = \left(\frac{W_p - W \cdot \Delta_{cos}}{2 - f_s \cdot \alpha} \right) \quad (8.9)$$

Y sustituyendo W_{amb} en la ecuación (8.4):

$$W_i = W - \left(\frac{W_p - W \cdot \Delta_{cos}}{2 - f_s \cdot \alpha} \right) \cdot f_s \cdot \alpha \quad (8.10)$$

Finalmente, se puede obtener la expresión de W :

$$W = \left(\frac{2 \cdot W_i + (W_p - W_i) \cdot f_s \cdot \alpha}{2 - (1 - \Delta_{cos}) \cdot f_s \cdot \alpha} \right) \quad (8.11)$$

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

Una vez plasmado el modelo teórico para la resolución del problema que se está tratando, queda obtener las diferentes variables definidas para calcular las tres incógnitas buscadas.

Así, para obtener W , W_{amb} y α primero se debe conocer $WI_{(SF)}$, $Wp_{(SF)}$, $WI_{(CF)}$, W_{Id} , W_{Ir} , Δ_{cos} y f_s .

Las potencias WI_{SF} y Wp_{SF} ya se conocen de la primeras medidas realizadas con la sonda de intensidad en la superficie de medida de la fuente bajo ensayo, y los parámetros f_s y Δ_{cos} se calcularán en los próximos apartados a partir de cálculos teóricos. Así, quedaría obtener las potencias $WI_{(CF)}$, W_{Id} y W_{Ir} a partir de nuevas medidas acústicas.

Para la obtención de W_{Id} y W_{Ir} se aplicará el método teórico de la imágenes, aunque anteriormente a estos cálculos se debe conocer mediante medidas de intensidad la potencia acústica de la fuente sonora omnidireccional situada en el exterior de la superficie de medida de la fuente bajo ensayo.

Además de las medidas anteriores para la obtención de la potencia acústica de la fuente externa, para calcular $WI_{(CF)}$ se debe medir nuevamente la intensidad acústica en los 27 puntos de la superficie de medida definida anteriormente, pero esta vez estando también la fuente externa omnidireccional en funcionamiento.

De esta forma, en el siguiente apartado se introduce esta segunda fuente sonora omnidireccional y se expone las diferentes medidas acústicas obtenidas en ese ensayo.

8.4. Introducción de una segunda fuente de potencia conocida.

Como ya se ha comentado anteriormente, el siguiente paso a seguir para implementar el método complementario a la normativa es el de incorporar una segunda fuente omnidireccional externa a la superficie de medida y de potencia acústica conocida.

Pero antes de colocar la fuente omnidireccional en su posición en el escenario de estudio, junto a la fuente sonora bajo ensayo, se debe obtener su potencia acústica.

Así, para realizar las medidas acústicas en condiciones de campo libre, se llevó la fuente sonora omnidireccional a una zona apartada y despejada sin influencia de ruidos externos y elementos reflectantes para obtener su potencia acústica mediante medidas de intensidad aplicando la norma ISO 9614-1 [39].

De esta forma, se definió una superficie de referencia paralelepípeda con una distancia de medida $d = 1\text{ m}$, con lo que resultó una superficie de medida de área $S = 33,99\text{ m}^2$ y con 4 puntos de medida (*Figura 8.4*).

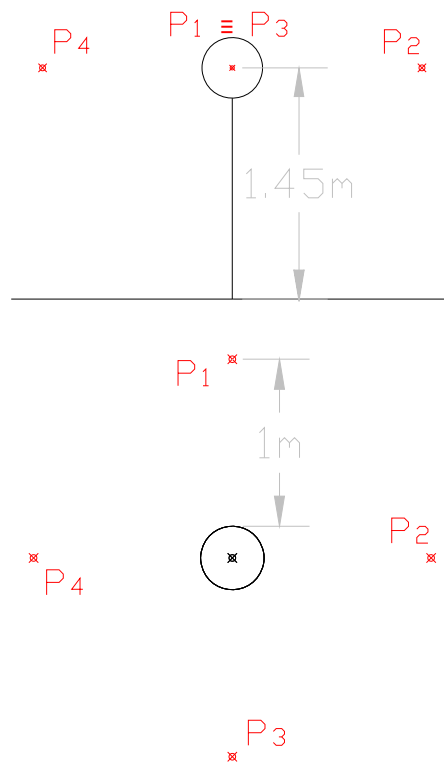


Figura 8.4: Vista en alzado y planta de la fuente sonora omnidireccional y los 4 puntos de medida

Los valores de las cuatros medidas de intensidad acústica obtenidas se pueden apreciar en la *Tabla 8.1*.

| Hz | LI1 (dB) | LI2 (dB) | LI3 (dB) | LI4 (dB) | LWT (dB) | LWT (dBA) |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| 125 | 76.1 | 76.7 | 76.6 | 76.8 | 91.9 | 75.8 |
| 160 | 81.9 | 82.6 | 82.3 | 82.3 | 97.6 | 84.2 |
| 200 | 85.6 | 85.9 | 85.4 | 85.8 | 101.0 | 90.1 |
| 250 | 83.9 | 84.2 | 83.5 | 83.9 | 99.2 | 90.6 |
| 315 | 82.1 | 82.8 | 82.8 | 82.8 | 97.9 | 91.3 |
| 400 | 81.1 | 81.3 | 80.6 | 81.1 | 96.3 | 91.5 |
| 500 | 78.6 | 79.2 | 79.1 | 79.4 | 94.4 | 91.2 |
| 630 | 75.7 | 76.3 | 75.9 | 76.1 | 91.3 | 89.4 |
| 800 | 74.6 | 75.4 | 75.1 | 75.3 | 90.4 | 89.6 |
| 1000 | 74.5 | 75.0 | 74.3 | 75.4 | 90.1 | 90.1 |
| 1250 | 70.7 | 74.2 | 71.3 | 73.9 | 88.1 | 88.7 |
| 1600 | 71.5 | 75.5 | 71.2 | 76.1 | 89.5 | 90.5 |
| 2000 | 75.4 | 72.8 | 73.9 | 73.9 | 89.4 | 90.6 |
| 2500 | 70.0 | 63.7 | 69.0 | 64.7 | 82.9 | 84.2 |
| 3150 | 64.1 | 62.0 | 63.9 | 64.9 | 79.2 | 80.4 |
| 4000 | 59.4 | 59.7 | 57.1 | 63.0 | 75.6 | 76.6 |
| 5000 | 60.7 | 64.8 | 61.1 | 63.9 | 78.3 | 78.8 |
| 6300 | 63.6 | 64.9 | 61.6 | 65.9 | 79.6 | 79.5 |
| 8000 | 66.3 | 69.2 | 60.2 | 66.4 | 81.8 | 80.7 |
| 10000 | 55.4 | 61.3 | 57.8 | 62.6 | 75.4 | 72.9 |
| L | 91.3 | 91.8 | 91.3 | 91.7 | 106.8 | 101.2 |

Tabla 8.1: Niveles de intensidad acústica en los 4 puntos de medida y nivel de potencia obtenido

El nivel de potencia acústica equivalente obtenido de la fuente es 101,2 *dBA* y los niveles de potencia para las frecuencias de 125 a 10000 Hz vienen dados en la *Figura 8.5*.

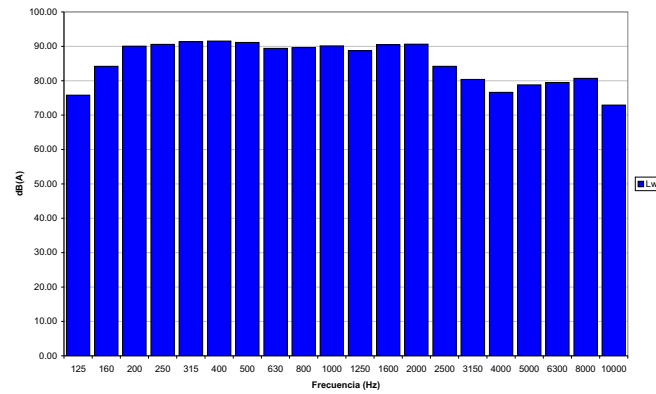


Figura 8.5: Niveles de potencia acústica de la segunda fuente obtenidos a partir de medidas de intensidad para las frecuencias de 125 a 10000 Hz

El ruido seleccionado para el ensayo fue un ruido rosa, pero quizás por algún defecto en la fuente o de algunos de los componentes en la cadena de emisión, el espectro en las frecuencias bajas (125 y 160 Hz) y en las altas frecuencias (2500 a 10000 Hz) pierde un poco la homogeneidad. De todas formas, como este hecho no afectaba al estudio a realizar ya que se iban a estudiar todos los valores de cada una de las frecuencias, se continuó el ensayo con esta fuente y sus componentes de emisión.

Una vez caracterizada acústicamente la fuente omnidireccional al obtener su potencia acústica, se pasó a situarla en el entorno de medida de la fuente bajo ensayo para la realización de las nuevas medidas de intensidad acústica estando ésta en funcionamiento.

La Figura 8.6 muestra la ubicación de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida respecto a la fuente bajo ensayo.

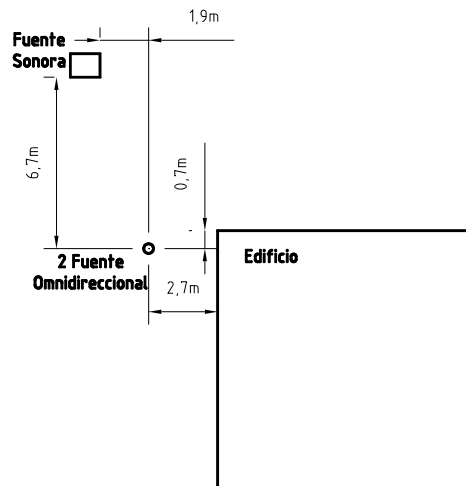


Figura 8.6: Localización de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida

Una vez situada la fuente externa, se realizaron nuevamente las 27 mediciones con la sonda de intensidad sobre la superficie de medida siguiendo la normativa ISO 9614-1 [39].

Con los datos obtenidos de las medidas (Tabla 8.2), se calculan las potencias acústicas a partir de la intensidad ($WI_{(CF)}$) (Tabla 8.3) para las frecuencias de 125 a 10000 Hz.

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| H _z | L11 | L12 | L13 | L14 | L15 | L16 | L17 | L18 | L19 | L110 | L111 | L112 | L113 | L114 | L115 | L116 | L117 | L118 | L119 | L120 | L121 | L122 | L123 | L124 | L125 | L126 | L127 |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|------|------|---------|------|------|---------|---------|---------|------|------|------|
| 125 | 66.7(-) | 66.2(-) | 60.4(-) | 66.2(-) | 62.3(-) | 61.3(-) | 64.2(-) | 63.0(-) | 59.3(-) | 58.1(-) | 48.3(-) | 63.7 | 60.3(-) | 59.6(-) | 58.0 | 64.3 | 63.9 | 66.0 | 66.9 | 64.7 | 62.2 | 66.9 | 71.0 | 69.5 | 63.9 | 67.0 | 66.1 |
| 160 | 71.7(-) | 66.7(-) | 57.1(-) | 71.6(-) | 65.2(-) | 59.7(-) | 69.2(-) | 65.3(-) | 60.1(-) | 66.7(-) | 59.6(-) | 52.3 | 56.0(-) | 56.9(-) | 55.2 | 71.1 | 69.1 | 64.0 | 71.8 | 69.8 | 60.0 | 66.1 | 71.1 | 65.1 | 55.8 | 64.2 | 61.6 |
| 200 | 73.4(-) | 70.5 | 70.2 | 73.2(-) | 69.1 | 72.1 | 72.5(-) | 67.1 | 65.9 | 66.3(-) | 62.0(-) | 65.2 | 58.3 | 60.0 | 59.6 | 73.5 | 73.2 | 69.8 | 71.6 | 70.9 | 61.3 | 71.5 | 76.3 | 73.1 | 58.9 | 62.2 | 64.6 |
| 250 | 73.5(-) | 63.7(-) | 67.1(-) | 68.0(-) | 60.2 | 63.5(-) | 71.2(-) | 62.7 | 62.4(-) | 66.2(-) | 64.1(-) | 54.1(-) | 64.4 | 58.0 | 41.3(-) | 68.0 | 65.4 | 50.8 | 66.4 | 56.9 | 65.0 | 54.6 | 58.9 | 57.9(-) | 65.5 | 67.0 | 67.8 |
| 315 | 69.8(-) | 60.4 | 72.0(-) | 57.6(-) | 65.9 | 69.9(-) | 66.3(-) | 65.4 | 69.4(-) | 56.1 | 26.3 | 61.1(-) | 56.5 | 32.7(-) | 61.3(-) | 67.6 | 62.0 | 63.2 | 69.9 | 63.0 | 68.0 | 62.8 | 56.0(-) | 60.4(-) | 67.6 | 67.9 | 68.8 |
| 400 | 64.8(-) | 54.7 | 70.2(-) | 65.8 | 73.9 | 64.0(-) | 66.5(-) | 53.3(-) | 68.4(-) | 58.2 | 42.4(-) | 56.8 | 57.9 | 43.1 | 59.2 | 64.4 | 73.6 | 64.2 | 68.8 | 66.7 | 67.3 | 60.0 | 70.4 | 63.8 | 67.8 | 71.1 | 68.6 |
| 500 | 66.0(-) | 66.0(-) | 66.2(-) | 61.4(-) | 50.9 | 64.3(-) | 62.0(-) | 61.2 | 64.5(-) | 58.1 | 54.7 | 40.1 | 57.6 | 36.2 | 51.0 | 66.1 | 65.8 | 63.7 | 65.4 | 64.6 | 62.5 | 64.6 | 63.8 | 56.1 | 63.8 | 63.2 | 59.1 |
| 630 | 58.7(-) | 60.5(-) | 61.2 | 65.5 | 64.5 | 61.3 | 70.9 | 75.3 | 67.7 | 45.1 | 57.1 | 53.6 | 50.8 | 57.8 | 41.0 | 65.7 | 66.8 | 65.6 | 70.6 | 71.2 | 61.6 | 72.8 | 66.0 | 58.3 | 68.6 | 58.9 | 61.4 |
| 800 | 54.2 | 41.0 | 64.5(-) | 62.3 | 64.3 | 62.7(-) | 61.6 | 48.0 | 62.6(-) | 48.5 | 55.4 | 50.7(-) | 48.9 | 57.1 | 49.8(-) | 59.8 | 62.2 | 63.4 | 49.4(-) | 61.8 | 61.8 | 60.5 | 62.5 | 59.5 | 61.9 | 62.2 | 60.6 |
| 1000 | 52.9 | 59.3 | 57.7(-) | 62.0 | 59.9 | 55.9(-) | 57.6 | 57.9 | 57.7(-) | 43.8 | 51.9 | 50.8 | 44.1(-) | 39.2 | 46.4(-) | 64.1 | 62.7 | 61.1 | 61.1 | 58.8 | 56.7 | 58.1 | 60.1 | 57.9 | 60.0 | 60.3 | 58.8 |
| 1250 | 47.1(-) | 58.1(-) | 58.5(-) | 54.4 | 56.1 | 59.4(-) | 54.8 | 58.8(-) | 59.5(-) | 43.2 | 40.3 | 46.7(-) | 47.8 | 52.9(-) | 40.9(-) | 59.2 | 61.9 | 59.7 | 59.4 | 61.4 | 56.4 | 55.3 | 57.4 | 53.2 | 58.8 | 58.7 | 56.1 |
| 1600 | 54.7(-) | 50.8(-) | 54.5(-) | 60.8(-) | 59.1 | 58.2(-) | 61.1(-) | 56.5(-) | 59.7(-) | 42.2(-) | 49.4(-) | 34.3 | 45.8(-) | 52.0(-) | 30.0(-) | 60.8 | 60.2 | 56.9 | 60.8 | 57.2 | 58.0 | 51.6 | 55.2 | 42.0(-) | 56.7 | 57.8 | 53.9 |
| 2000 | 59.2(-) | 60.3(-) | 60.7(-) | 54.9(-) | 54.0 | 59.2(-) | 62.6(-) | 59.7(-) | 59.5(-) | 53.2(-) | 52.4(-) | 46.1(-) | 52.3(-) | 54.0(-) | 45.7(-) | 60.6 | 60.0 | 58.0 | 60.4 | 59.5 | 57.9 | 45.2(-) | 54.6 | 59.8(-) | 55.1 | 58.3 | 57.3 |
| 2500 | 39.7(-) | 52.6 | 55.1(-) | 51.5 | 61.2 | 42.8(-) | 50.8(-) | 55.9 | 46.4 | 42.5(-) | 50.3(-) | 43.0(-) | 48.5(-) | 48.5(-) | 43.0(-) | 53.7 | 60.7 | 55.1 | 55.2 | 56.4 | 52.4 | 50.7 | 45.7 | 49.5 | 52.5 | 53.8 | 54.1 |
| 3150 | 50.8 | 55.3 | 46.6(-) | 52.6 | 59.9 | 49.4 | 49.7 | 54.6 | 47.9 | 27.8(-) | 39.4(-) | 35.5(-) | 32.7 | 41.1(-) | 41.4(-) | 53.7 | 58.3 | 54.5 | 52.6 | 54.7 | 50.2 | 50.3 | 48.7 | 51.8 | 50.5 | 52.0 | 52.3 |
| 4000 | 50.2 | 57.2 | 47.1 | 48.6 | 59.4 | 48.4 | 46.9 | 53.3 | 47.0 | 21.1 | -30.5 | 40.2 | 28.0 | 34.2(-) | 32.3(-) | 51.8 | 58.0 | 51.2 | 51.7 | 54.6 | 48.3 | 49.0 | 46.4 | 46.5 | 47.5 | 47.7 | 48.3 |
| 5000 | 48.5 | 56.2 | 44.6 | 49.6 | 59.8 | 49.5 | 40.1(-) | 50.8 | 37.8(-) | 24.6 | 30.5(-) | 38.3 | 25.1(-) | 32.9(-) | 29.7 | 50.8 | 55.8 | 49.5 | 49.6 | 53.7 | 47.8 | 46.4 | 47.3 | 45.7 | 47.5 | 48.5 | 47.8 |
| 6300 | 42.1 | 56.5 | 44.3(-) | 49.4 | 59.9 | 39.6 | 49.8(-) | 48.4 | 40.8(-) | 20.9 | 32.9(-) | 36.6 | 24.2 | 36.0(-) | 30.3 | 50.1 | 55.9 | 47.3 | 50.9 | 51.8 | 45.0 | 43.3(-) | 45.1 | 40.4 | 46.7 | 49.0 | 46.7 |
| 8000 | 44.8 | 51.3 | 42.8(-) | 34.5(-) | 59.1 | 39.5(-) | 47.4(-) | 49.7 | 48.6(-) | 34.9 | 40.9 | 37.0 | 30.8(-) | 39.1(-) | 30.0(-) | 49.6 | 53.7 | 48.5 | 48.6 | 51.3 | 47.5 | 34.1 | 41.2 | 42.6 | 45.4 | 47.7 | 44.9 |
| 10000 | 36.7 | 53.6 | 39.6(-) | 42.1 | 55.7 | 37.3 | 43.0(-) | 50.5 | 41.8(-) | 30.7 | 32.1 | 31.2 | 16.4(-) | 24.7(-) | 23.8 | 44.6 | 50.9 | 44.0 | 45.3 | 47.8 | 43.3 | 38.8 | 41.7 | 41.4 | 42.8 | 42.8 | 42.0 |
| L | 79.1(-) | 63.9(-) | 74.9(-) | 75.8(-) | 76.7 | 68.0(-) | 76.1(-) | 76.0 | 72.4(-) | 70.8(-) | 66.2(-) | 66.9 | 65.3 | 58.3 | 60.9 | 78.4 | 79.0 | 75.2 | 78.8 | 77.4 | 74.2 | 77.0 | 79.6 | 75.5 | 76.2 | 76.2 | 75.5 |

Tabla 8.2: Niveles de intensidad acústica en los 27 puntos de medida con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| | LW1 | LW2 | LW3 | LW4 | LW5 | LW6 | LW7 | LW8 | LW9 | LW10 | LW11 | LW12 | LW13 | LW14 | LW15 | LW16 | LW17 | LW18 | LW19 | LW20 | LW21 | LW22 | LW23 | LW24 | LW25 | LW26 | LW27 | LWT |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------|
| Hz | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | |
| 125 | 64.4(-) | 63.9(-) | 58.2(-) | 64.0(-) | 60.0(-) | 59.1(-) | 61.9(-) | 60.7(-) | 57.1(-) | 55.9(-) | 46.1(-) | 61.4 | 58.0(-) | 57.3(-) | 55.7 | 62.0 | 61.5 | 63.7 | 64.6 | 62.3 | 59.9 | 63.9 | 68.1 | 66.6 | 61.0 | 64.0 | 63.2 | 72.3 |
| 160 | 69.4(-) | 64.5(-) | 54.8(-) | 69.4(-) | 63.0(-) | 57.4(-) | 67.0(-) | 63.0(-) | 57.8(-) | 64.5(-) | 37.3(-) | 50.0 | 53.8(-) | 54.7(-) | 52.9 | 68.8 | 66.8 | 61.7 | 69.5 | 67.4 | 57.7 | 63.1 | 68.2 | 62.2 | 52.9 | 61.3 | 58.7 | 68.5 |
| 200 | 71.2(-) | 68.2 | 68.0 | 71.0(-) | 66.9 | 69.8 | 70.2(-) | 64.9 | 63.6 | 64.1(-) | 59.8(-) | 62.9 | 56.0 | 57.7 | 57.3 | 71.2 | 70.9 | 67.5 | 69.3 | 68.6 | 59.0 | 68.6 | 73.4 | 70.2 | 56.0 | 59.3 | 61.7 | 70.4 |
| 250 | 71.2(-) | 61.4(-) | 64.9(-) | 65.8(-) | 58.0 | 61.3(-) | 69.0(-) | 60.5 | 60.1(-) | 63.9(-) | 61.8(-) | 51.8(-) | 62.1 | 55.7 | 39.1(-) | 65.7 | 63.1 | 48.5 | 64.1 | 54.5 | 62.7 | 51.7 | 56.0 | 55.6(-) | 62.6 | 64.1 | 64.9 | 71.4 |
| 315 | 67.6(-) | 58.1 | 69.7(-) | 55.4(-) | 63.7 | 67.6(-) | 64.0(-) | 63.2 | 67.1(-) | 53.8 | 24.0 | 58.8(-) | 54.2 | 30.4(-) | 59.1(-) | 65.3 | 59.7 | 60.9 | 67.6 | 60.7 | 65.6 | 59.9 | 53.8(-) | 58.1(-) | 64.7 | 65.0 | 65.9 | 61.1 |
| 400 | 62.5(-) | 52.5 | 68.0(-) | 63.5 | 71.7 | 61.8(-) | 64.2(-) | 51.1(-) | 66.2(-) | 55.9 | 40.2(-) | 54.5 | 55.6 | 40.8 | 56.9 | 62.1 | 71.3 | 61.9 | 66.5 | 64.4 | 65.0 | 57.1 | 67.5 | 60.9 | 64.9 | 68.2 | 65.7 | 77.0 |
| 500 | 63.7(-) | 63.8(-) | 63.9(-) | 59.1(-) | 48.7 | 62.1(-) | 59.7(-) | 58.9 | 62.3(-) | 55.8 | 52.4 | 37.8 | 55.3 | 33.9 | 48.7 | 63.8 | 63.5 | 61.4 | 63.1 | 62.3 | 60.2 | 61.7 | 60.9 | 53.2 | 60.9 | 60.3 | 56.2 | 67.8 |
| 630 | 56.5(-) | 58.3(-) | 58.9 | 63.2 | 62.3 | 59.1 | 68.6 | 73.0 | 65.4 | 42.8 | 54.8 | 51.3 | 48.5 | 55.5 | 38.7 | 63.4 | 64.4 | 63.3 | 68.3 | 68.9 | 59.3 | 69.9 | 63.1 | 55.4 | 65.7 | 56.0 | 58.5 | 78.8 |
| 800 | 51.9 | 38.8 | 62.3(-) | 60.0 | 62.0 | 60.4(-) | 59.4 | 45.7 | 60.4(-) | 46.2 | 53.1 | 48.5(-) | 46.6 | 54.8 | 47.6(-) | 57.5 | 59.9 | 61.1 | 47.2(-) | 59.5 | 59.5 | 57.6 | 59.6 | 56.6 | 59.0 | 59.3 | 57.6 | 69.5 |
| 1000 | 50.7 | 57.1 | 55.4(-) | 59.7 | 57.7 | 53.7(-) | 55.3 | 55.6 | 55.4(-) | 41.5 | 49.6 | 48.5 | 41.8(-) | 36.9 | 44.1(-) | 61.8 | 60.4 | 58.8 | 58.8 | 56.5 | 54.4 | 55.2 | 57.2 | 55.0 | 57.1 | 57.4 | 55.9 | 69.8 |
| 1250 | 44.8(-) | 55.8(-) | 56.2(-) | 52.1 | 53.8 | 57.1(-) | 52.5 | 56.5(-) | 57.3(-) | 40.9 | 38.0 | 44.4(-) | 45.6 | 50.7(-) | 38.6(-) | 56.9 | 59.6 | 57.4 | 57.1 | 59.0 | 54.1 | 52.4 | 54.5 | 50.3 | 55.9 | 55.8 | 53.2 | 65.1 |
| 1600 | 52.5(-) | 48.5(-) | 52.3(-) | 58.5(-) | 56.8 | 56.0(-) | 58.9(-) | 54.3(-) | 57.5(-) | 40.0(-) | 47.2(-) | 32.0 | 43.6(-) | 49.7(-) | 27.8(-) | 58.5 | 57.9 | 54.6 | 58.5 | 54.8 | 55.7 | 48.7 | 52.3 | 39.7(-) | 53.8 | 54.9 | 51.0 | 60.3 |
| 2000 | 57.0(-) | 58.0(-) | 58.4(-) | 52.7(-) | 51.7 | 57.0(-) | 60.3(-) | 57.5(-) | 57.2(-) | 51.0(-) | 50.1(-) | 43.9(-) | 50.1(-) | 51.8(-) | 43.5(-) | 58.3 | 57.7 | 55.7 | 58.1 | 57.2 | 55.5 | 42.9(-) | 51.7 | 57.6(-) | 52.2 | 55.4 | 54.4 | 61.9 |
| 2500 | 37.5(-) | 50.4 | 52.8(-) | 49.3 | 58.9 | 40.5(-) | 48.6(-) | 53.6 | 44.1 | 40.3(-) | 48.1(-) | 40.7(-) | 46.2(-) | 46.2(-) | 40.8(-) | 51.4 | 58.4 | 52.8 | 52.9 | 54.1 | 50.1 | 47.8 | 42.8 | 46.6 | 49.5 | 50.9 | 51.2 | 64.5 |
| 3150 | 48.6 | 53.0 | 44.4(-) | 50.4 | 57.6 | 47.1 | 47.5 | 52.3 | 45.6 | 25.5(-) | 37.2(-) | 33.2(-) | 30.4 | 38.9(-) | 39.1(-) | 51.4 | 56.0 | 52.2 | 50.3 | 52.4 | 47.9 | 47.4 | 45.8 | 48.9 | 47.6 | 49.0 | 49.4 | 64.3 |
| 4000 | 47.9 | 55.0 | 44.8 | 46.3 | 57.1 | 46.1 | 44.6 | 51.1 | 44.8 | 18.8 | 28.2(-) | 37.9 | 25.7 | 32.0(-) | 30.1(-) | 49.5 | 55.7 | 48.9 | 49.4 | 52.3 | 46.0 | 46.1 | 43.5 | 43.6 | 44.6 | 44.8 | 45.4 | 63.4 |
| 5000 | 46.3 | 53.9 | 42.4 | 47.3 | 57.6 | 47.2 | 37.8(-) | 48.6 | 35.5(-) | 22.3 | 28.3(-) | 36.0 | 22.9(-) | 30.6(-) | 27.3 | 48.5 | 53.5 | 47.2 | 47.2 | 51.4 | 45.5 | 43.5 | 44.4 | 42.8 | 44.6 | 45.6 | 44.9 | 62.5 |
| 6300 | 39.8 | 54.2 | 42.1(-) | 47.2 | 57.7 | 37.4 | 47.6(-) | 46.2 | 38.6(-) | 18.6 | 30.6(-) | 34.3 | 21.9 | 33.8(-) | 28.0 | 47.8 | 53.6 | 44.9 | 48.6 | 49.5 | 42.7 | 41.1(-) | 42.2 | 37.5 | 43.7 | 46.1 | 43.8 | 61.7 |
| 8000 | 42.6 | 49.0 | 40.5(-) | 32.3(-) | 56.8 | 37.3(-) | 45.1(-) | 47.4 | 46.3(-) | 32.6 | 38.6 | 34.7 | 28.6(-) | 36.8(-) | 27.7(-) | 47.3 | 51.4 | 46.1 | 46.2 | 49.0 | 45.2 | 31.2 | 38.3 | 39.7 | 42.4 | 44.8 | 42.0 | 60.1 |
| 10000 | 34.4 | 51.4 | 37.3(-) | 39.8 | 53.5 | 35.1 | 40.8(-) | 48.2 | 39.5(-) | 28.4 | 29.8 | 28.9 | 14.2(-) | 22.5(-) | 21.5 | 42.3 | 48.6 | 41.7 | 42.9 | 46.5 | 41.0 | 35.9 | 38.8 | 38.5 | 39.9 | 39.8 | 39.1 | 57.9 |
| L | 76.9(-) | 61.6(-) | 72.7(-) | 73.6(-) | 74.5 | 65.7(-) | 73.9(-) | 73.7 | 70.2(-) | 68.6(-) | 64.0(-) | 64.6 | 63.1 | 55.8 | 58.5 | 76.0 | 76.7 | 72.9 | 76.5 | 75.1 | 71.9 | 74.1 | 76.6 | 72.5 | 72.3 | 73.3 | 72.5 | 84.7 |

Tabla 8.3: Áreas de los elementos de superficie asociados a los 27 puntos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de intensidad y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida

Aunque para la resolución del balance de potencias planteado en el método complementario a la normativa sólo se necesita el valor de $WI_{(CF)}$ obtenido a partir de las medidas de intensidad, a continuación se realiza una comparación entre los niveles de potencia acústica calculados a partir de las medidas de intensidad y presión efectuadas utilizando la sonda de intensidad con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida para resaltar la diferencia destacable de valores obtenidos a partir de ambas mediciones.

Así, la *Figura 8.7* muestra una comparativa de los niveles de potencia acústica obtenidos a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida para las frecuencias de 125 a 10000 Hz .

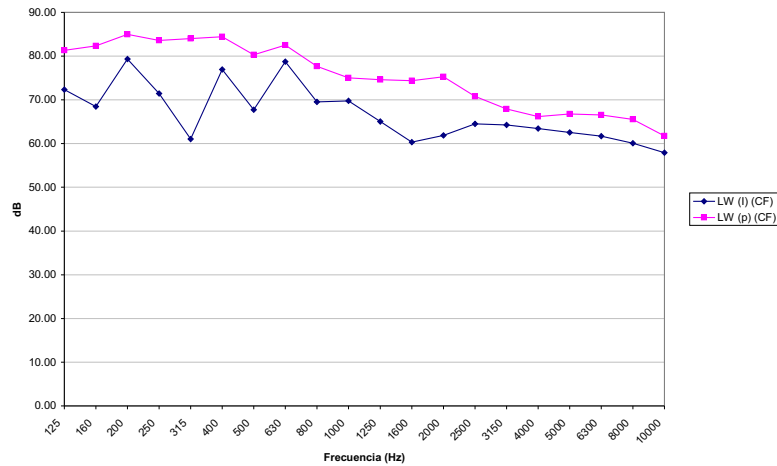


Figura 8.7: Niveles de Potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida

Por otro lado, la *Figura 8.8* muestra la comparativa de los niveles de potencia acústica obtenidos a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida, en cada uno de los 27 puntos de medida, además de señalar también el valor global de la potencia en la superficie de medida.

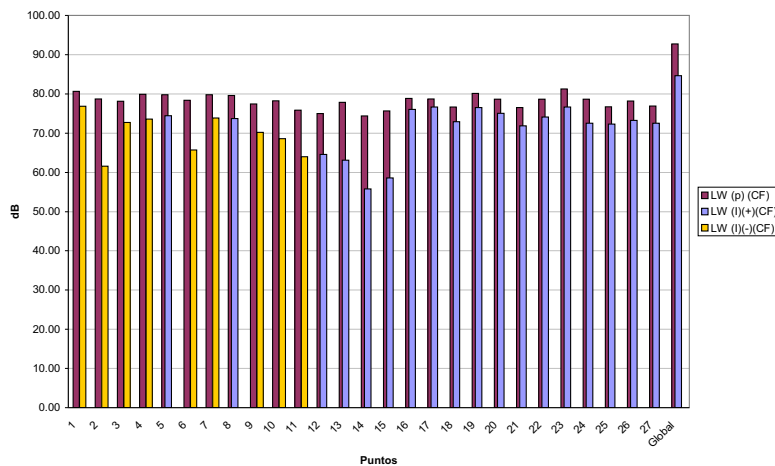


Figura 8.8: Niveles de Potencia acústica en los 27 puntos y valor global calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida

En esta figura, se puede apreciar como los niveles de potencia acústica obtenidos a partir de medidas de presión vienen representados con un sólo color: el magenta, mientras que los niveles de potencia acústica obtenidos a partir de medidas de intensidad se representan con dos colores: el amarillo y el violeta.

Esta diferencia se produce ya que cuando se mide presión acústica, no se tiene en cuenta el sentido del flujo de la energía sonora, con lo que toda energía que llega al punto de medición se considera con signo positivo. En cambio, en la realización de medidas de intensidad acústica, se mide la componente de la intensidad acústica en la dirección normal a la superficie de medida y se tiene en cuenta el sentido en el que llega el flujo de energía. Así, se considera con signo positivo el flujo de energía que proviene del interior de la superficie de medida y negativo el que procede del exterior.

De esta forma, se pueden apreciar con signo positivo todos los niveles de potencia obtenidos a partir de las medidas de presión y en cambio, para los niveles de potencia obtenidos a partir de medidas de intensidad, se tiene que en las posiciones de medida de la 1 a la 11 se obtienen valores negativos de los niveles de potencia acústica, lo que indica que en estos puntos, la influencia de la fuente externa omnidireccional es mayor que fuente sonora bajo estudio y por contra, en las posiciones de medida de la 12 a la 27 se obtienen valores positivos de los niveles

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

de potencia acústica, lo que indica que en estos puntos, la influencia de la fuente sonora bajo estudio es mayor que la fuente externa omnidireccional.

8.5. Estudio por el método de la imágenes de la influencia de la segunda fuente en las medidas.

Una vez realizadas las 27 medidas de intensidad con la presencia de la fuente externa omnidireccional, en este apartado se utilizará la potencia acústica obtenida de dicha fuente, en condiciones de campo libre, para calcular su influencia sobre los puntos de medición de la superficie de medida y así obtener W_{Id} y W_{Ir} .

De esta forma, para estudiar la potencia que aporta la fuente externa a cada punto de la superficie de medida se realiza un estudio teórico aplicando el método de la imágenes considerando dos planos reflectantes; el plano del suelo y el plano del panel absorbente trasero. Por contra, no se considera el panel absorbente oblicuo superior porque esta fuera de la superficie de medida y toda la energía que entra de su fuente imagen vuelve a salir, con lo que el flujo de energía es cero.

Para comenzar con el método de las imágenes, primero se define el número de fuentes que se considerarán en el estudio y que vendrán dadas por el número de planos reflectantes que se tenga. En nuestro caso, se tienen dos planos con lo que además de la fuente F , se tiene la influencia de sus fuentes imágenes F' , F'' y F''' .

La *Figura 8.9* muestra como quedaría la distribución de fuentes con relación a la superficie de medida, al suelo y al panel absorbente de la parte trasera de la fuente bajo ensayo.

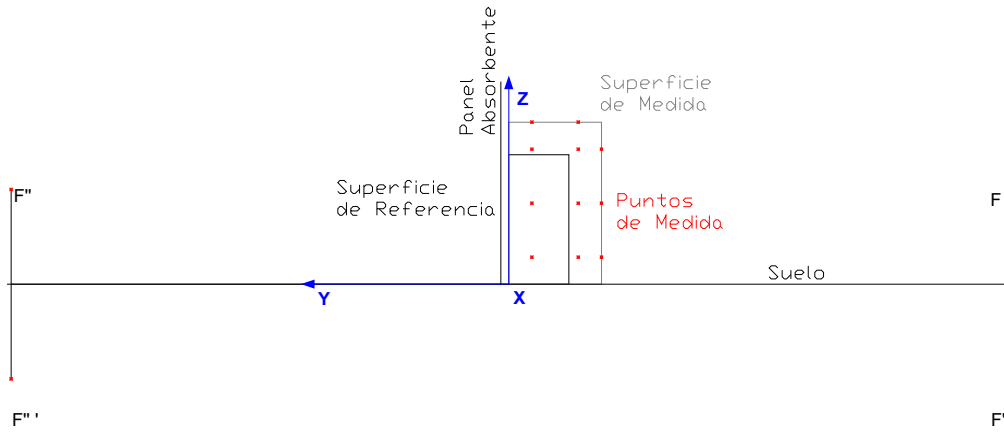


Figura 8.9: Situación de la fuente externa F y de sus imágenes F' , F'' y F''' . Vista en perfil

Una vez definidas las fuentes, el siguiente paso es lanzar las proyecciones de los rayos acústicos en cada uno de los puntos de medida. Así, las Figuras 8.10 y 8.11 muestran las proyecciones de las cuatro fuentes en vista de perfil y de planta respectivamente.

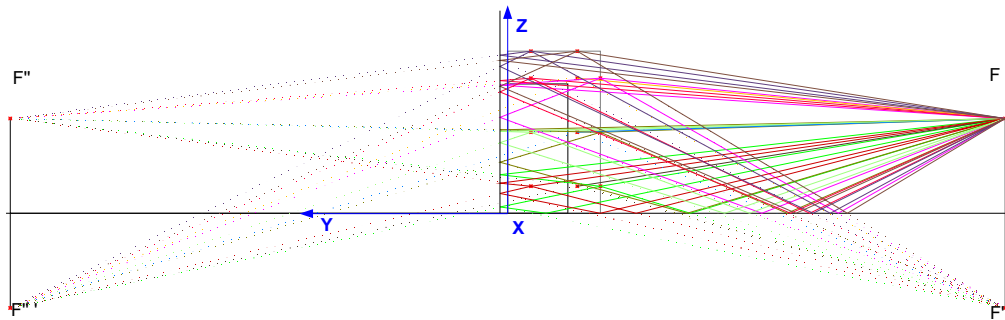


Figura 8.10: Proyecciones de la fuente externa F y de sus imágenes F' , F'' y F''' . Vista en perfil

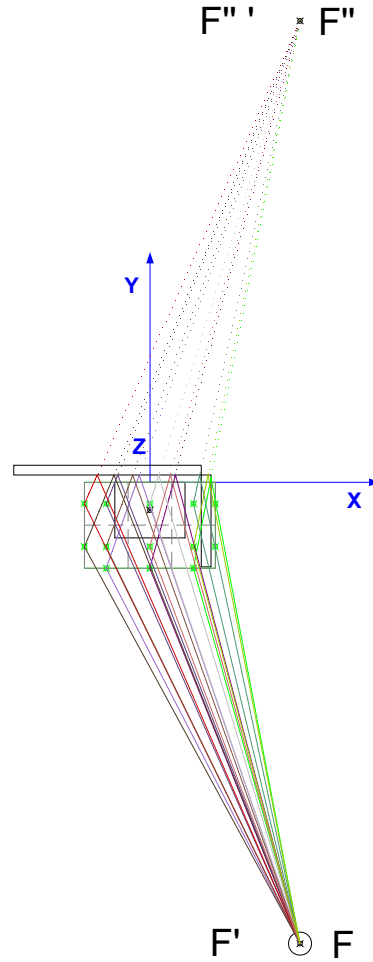


Figura 8.11: Proyecciones de la fuente externa F y de sus imágenes F' , F'' y F''' . Vista en planta

De todas estas proyecciones, se identificarán por separado las que vengan de las fuentes F y F' por un lado y las que procedan de las fuentes F'' y F''' por otro (Figura 8.12) y sin considerar rebotes en más de una superficie absorbente. Así, con las proyecciones de F y F' , que no tienen influencia de los paneles absorbentes, se calculará W_{Id} y con las proyecciones de F'' y F''' , que tienen influencia de los paneles absorbentes, se calculará W_{Ir} .

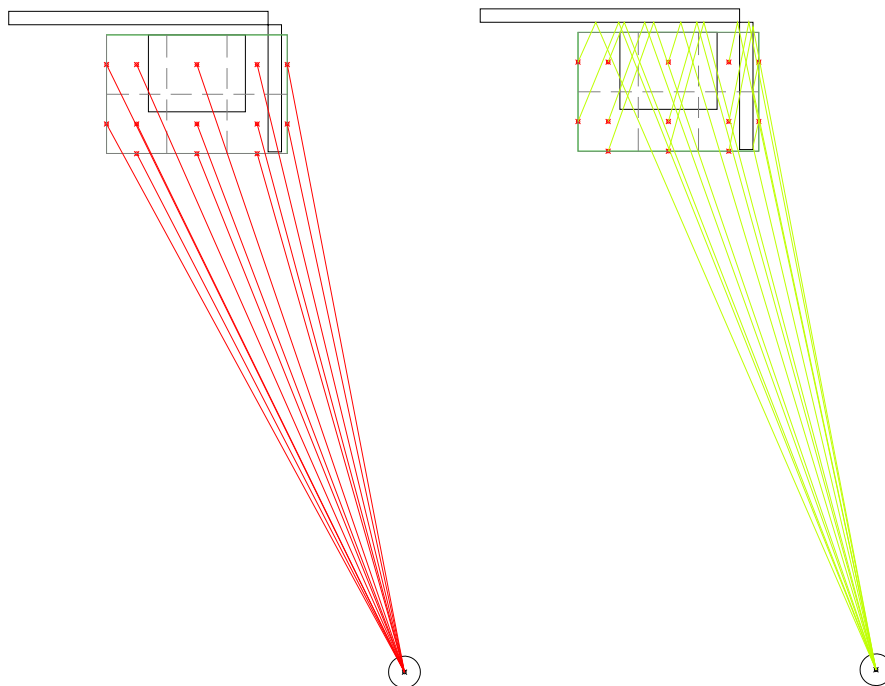


Figura 8.12: Proyecciones sin influencia de los paneles absorbentes (izquierda) y con influencia de los paneles absorbentes (derecha) utilizadas para el cálculo de W_{Id} y W_{Ir}

Para comenzar con el método de cálculo, se deben introducir las coordenadas de las 4 fuentes definidas, así como las de los 27 puntos de medida. En las Figuras 8.9, 8.10 y 8.11 puede apreciarse el sistema de referencia tomado para la definición de las diferentes coordenadas.

Una vez definidas las coordenadas de todos los elementos, se calculan las distancias entre los puntos y las fuentes utilizando para ello las diferencias entre sus coordenadas en los ejes x , y , z (Δx , Δy , Δz), para obtener finalmente los $\cos \theta$ de las diferentes coordenadas que se utilizaran en el calculo de las potencias (Tablas 8.4, 8.5, 8.6 y 8.7).

Como comentario específico del cálculo de W_{Ir10} , W_{Ir11} , W_{Ir12} , W_{Ir13} , W_{Ir14} y W_{Ir15} , se tiene que las proyecciones que se producen se deben a la actuación de la parte exterior del panel absorbente de la derecha de la fuente, así las coordenadas de F'' , y F''' para estos casos son: $(-0.46, -7.62, 1.45)m$, y $(-0.46, -7.62, -1.45)m$ respectivamente.

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| | Coordenadas | | | Proyecciones | | | | | | | |
|----------|-------------|-------|------|--------------|------------|------------|------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| | x | y | z | Δx | Δy | Δz | d | $ux (\cos \theta x)$ | $uy (\cos \theta y)$ | $uz (\cos \theta z)$ | $\cos \theta$ |
| Fuente F | 2.48 | -7.62 | 1.45 | | | | | | | | |
| Punto 1 | 0.72 | -1.42 | 0.41 | 1.76 | 6.20 | 1.04 | 6.53 | 0.27 | -0.95 | 0.16 | -0.95 |
| Punto 2 | 0.72 | -1.42 | 1.24 | 1.76 | 6.20 | 0.21 | 6.45 | 0.27 | -0.96 | 0.03 | -0.96 |
| Punto 3 | 0.72 | -1.42 | 2.07 | 1.76 | 6.20 | 0.62 | 6.47 | 0.27 | -0.96 | 0.10 | -0.96 |
| Punto 4 | 0.00 | -1.42 | 0.41 | 2.48 | 6.20 | 1.04 | 6.76 | 0.37 | -0.92 | 0.15 | -0.92 |
| Punto 5 | 0.00 | -1.42 | 1.24 | 2.48 | 6.20 | 0.21 | 6.68 | 0.37 | -0.93 | 0.03 | -0.93 |
| Punto 6 | 0.00 | -1.42 | 2.07 | 2.48 | 6.20 | 0.62 | 6.71 | 0.37 | -0.92 | 0.09 | -0.92 |
| Punto 7 | -0.72 | -1.42 | 0.41 | 3.20 | 6.20 | 1.04 | 7.05 | 0.45 | -0.88 | 0.15 | -0.88 |
| Punto 8 | -0.72 | -1.42 | 1.24 | 3.20 | 6.20 | 0.21 | 6.98 | 0.46 | -0.89 | 0.03 | -0.89 |
| Punto 9 | -0.72 | -1.42 | 2.07 | 3.20 | 6.20 | 0.62 | 7.00 | 0.46 | -0.89 | 0.09 | -0.89 |
| Punto 10 | 1.08 | -0.36 | 0.41 | 1.40 | 7.27 | 1.04 | 7.47 | -0.19 | 0.97 | 0.14 | -0.19 |
| Punto 11 | 1.08 | -0.36 | 1.24 | 1.40 | 7.27 | 0.21 | 7.40 | -0.19 | 0.98 | 0.03 | -0.19 |
| Punto 12 | 1.08 | -0.36 | 2.07 | 1.40 | 7.27 | 0.62 | 7.42 | -0.19 | 0.98 | 0.08 | -0.19 |
| Punto 13 | 1.08 | -1.07 | 0.41 | 1.40 | 6.56 | 1.04 | 6.78 | -0.21 | 0.97 | 0.15 | -0.21 |
| Punto 14 | 1.08 | -1.07 | 1.24 | 1.40 | 6.56 | 0.21 | 6.71 | -0.21 | 0.98 | 0.03 | -0.21 |
| Punto 15 | 1.08 | -1.07 | 2.07 | 1.40 | 6.56 | 0.62 | 6.73 | -0.21 | 0.97 | 0.09 | -0.21 |
| Punto 16 | -1.08 | -0.36 | 0.41 | 3.56 | 7.27 | 1.04 | 8.16 | 0.44 | 0.89 | 0.13 | 0.44 |
| Punto 17 | -1.08 | -0.36 | 1.24 | 3.56 | 7.27 | 0.21 | 8.09 | 0.44 | 0.90 | 0.03 | 0.44 |
| Punto 18 | -1.08 | -0.36 | 2.07 | 3.56 | 7.27 | 0.62 | 8.11 | 0.44 | 0.90 | 0.08 | 0.44 |
| Punto 19 | -1.08 | -1.07 | 0.41 | 3.56 | 6.56 | 1.04 | 7.53 | 0.47 | 0.87 | 0.14 | 0.47 |
| Punto 20 | -1.08 | -1.07 | 1.24 | 3.56 | 6.56 | 0.21 | 7.46 | 0.48 | 0.88 | 0.03 | 0.48 |
| Punto 21 | -1.08 | -1.07 | 2.07 | 3.56 | 6.56 | 0.62 | 7.48 | 0.48 | 0.88 | 0.08 | 0.48 |
| Punto 22 | -0.72 | -0.36 | 2.48 | 3.20 | 7.27 | 1.03 | 8.01 | 0.40 | 0.91 | 0.13 | 0.13 |
| Punto 23 | 0.00 | -0.36 | 2.48 | 2.48 | 7.27 | 1.03 | 7.75 | 0.32 | 0.94 | 0.13 | 0.13 |
| Punto 24 | 0.72 | -0.36 | 2.48 | 1.76 | 7.27 | 1.03 | 7.55 | 0.23 | 0.96 | 0.14 | 0.14 |
| Punto 25 | -0.72 | -1.07 | 2.48 | 3.20 | 6.56 | 1.03 | 7.37 | 0.43 | 0.89 | 0.14 | 0.14 |
| Punto 26 | 0.00 | -1.07 | 2.48 | 2.48 | 6.56 | 1.03 | 7.08 | 0.35 | 0.93 | 0.15 | 0.15 |
| Punto 27 | 0.72 | -1.07 | 2.48 | 1.76 | 6.56 | 1.03 | 6.86 | 0.26 | 0.95 | 0.15 | 0.15 |

Tabla 8.4: Coordenadas, diferencias entre las coordenadas de los 27 puntos y la fuente F (Δx , Δy , Δz), distancia total y cosenos de θ para las diferentes coordenadas

| | Coordenadas | | | Proyecciones | | | | | | | |
|-----------|-------------|-------|-------|--------------|------------|------------|------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| | x | y | z | Δx | Δy | Δz | d | $ux (\cos \theta x)$ | $uy (\cos \theta y)$ | $uz (\cos \theta z)$ | $\cos \theta$ |
| Fuente F' | 2.48 | -7.62 | -1.45 | | | | | | | | |
| Punto 1 | 0.72 | -1.42 | 0.41 | 1.76 | 6.20 | 1.86 | 6.71 | 0.26 | -0.92 | 0.28 | -0.92 |
| Punto 2 | 0.72 | -1.42 | 1.24 | 1.76 | 6.20 | 2.69 | 6.98 | 0.25 | -0.89 | 0.39 | -0.89 |
| Punto 3 | 0.72 | -1.42 | 2.07 | 1.76 | 6.20 | 3.52 | 7.34 | 0.24 | -0.84 | 0.48 | -0.84 |
| Punto 4 | 0.00 | -1.42 | 0.41 | 2.48 | 6.20 | 1.86 | 6.93 | 0.36 | -0.89 | 0.27 | -0.89 |
| Punto 5 | 0.00 | -1.42 | 1.24 | 2.48 | 6.20 | 2.69 | 7.20 | 0.34 | -0.86 | 0.37 | -0.86 |
| Punto 6 | 0.00 | -1.42 | 2.07 | 2.48 | 6.20 | 3.52 | 7.55 | 0.33 | -0.82 | 0.47 | -0.82 |
| Punto 7 | -0.72 | -1.42 | 0.41 | 3.20 | 6.20 | 1.86 | 7.22 | 0.44 | -0.86 | 0.26 | -0.86 |
| Punto 8 | -0.72 | -1.42 | 1.24 | 3.20 | 6.20 | 2.69 | 7.48 | 0.43 | -0.83 | 0.36 | -0.83 |
| Punto 9 | -0.72 | -1.42 | 2.07 | 3.20 | 6.20 | 3.52 | 7.81 | 0.41 | -0.79 | 0.45 | -0.79 |
| Punto 10 | 1.08 | -0.36 | 0.41 | 1.40 | 7.27 | 1.86 | 7.63 | -0.18 | 0.95 | 0.24 | -0.18 |
| Punto 11 | 1.08 | -0.36 | 1.24 | 1.40 | 7.27 | 2.69 | 7.87 | -0.18 | 0.92 | 0.34 | -0.18 |
| Punto 12 | 1.08 | -0.36 | 2.07 | 1.40 | 7.27 | 3.52 | 8.19 | -0.17 | 0.89 | 0.43 | -0.17 |
| Punto 13 | 1.08 | -1.07 | 0.41 | 1.40 | 6.56 | 1.86 | 6.96 | -0.20 | 0.94 | 0.27 | -0.20 |
| Punto 14 | 1.08 | -1.07 | 1.24 | 1.40 | 6.56 | 2.69 | 7.22 | -0.19 | 0.91 | 0.37 | -0.19 |
| Punto 15 | 1.08 | -1.07 | 2.07 | 1.40 | 6.56 | 3.52 | 7.57 | -0.18 | 0.87 | 0.46 | -0.18 |
| Punto 16 | -1.08 | -0.36 | 0.41 | 3.56 | 7.27 | 1.86 | 8.30 | 0.43 | 0.88 | 0.22 | 0.43 |
| Punto 17 | -1.08 | -0.36 | 1.24 | 3.56 | 7.27 | 2.69 | 8.53 | 0.42 | 0.85 | 0.32 | 0.42 |
| Punto 18 | -1.08 | -0.36 | 2.07 | 3.56 | 7.27 | 3.52 | 8.82 | 0.40 | 0.82 | 0.40 | 0.40 |
| Punto 19 | -1.08 | -1.07 | 0.41 | 3.56 | 6.56 | 1.86 | 7.69 | 0.46 | 0.85 | 0.24 | 0.46 |
| Punto 20 | -1.08 | -1.07 | 1.24 | 3.56 | 6.56 | 2.69 | 7.93 | 0.45 | 0.83 | 0.34 | 0.45 |
| Punto 21 | -1.08 | -1.07 | 2.07 | 3.56 | 6.56 | 3.52 | 8.25 | 0.43 | 0.79 | 0.43 | 0.43 |
| Punto 22 | -0.72 | -0.36 | 2.48 | 3.20 | 7.27 | 3.93 | 8.86 | 0.36 | 0.82 | 0.44 | 0.44 |
| Punto 23 | 0.00 | -0.36 | 2.48 | 2.48 | 7.27 | 3.93 | 8.62 | 0.29 | 0.84 | 0.46 | 0.46 |
| Punto 24 | 0.72 | -0.36 | 2.48 | 1.76 | 7.27 | 3.93 | 8.45 | 0.21 | 0.86 | 0.47 | 0.47 |
| Punto 25 | -0.72 | -1.07 | 2.48 | 3.20 | 6.56 | 3.93 | 8.29 | 0.39 | 0.79 | 0.47 | 0.47 |
| Punto 26 | 0.00 | -1.07 | 2.48 | 2.48 | 6.56 | 3.93 | 8.04 | 0.31 | 0.82 | 0.49 | 0.49 |
| Punto 27 | 0.72 | -1.07 | 2.48 | 1.76 | 6.56 | 3.93 | 7.84 | 0.22 | 0.84 | 0.50 | 0.50 |

Tabla 8.5: Coordenadas, diferencias entre las coordenadas de los 27 puntos y la fuente F' (Δx , Δy , Δz), distancia total y cosenos de θ para las diferentes coordenadas

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| | Coordenadas | | | Proyecciones | | | | | | | |
|-----------|-------------|-------|------|--------------|------------|------------|------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| | x | y | z | Δx | Δy | Δz | d | $ux (\cos \theta x)$ | $uy (\cos \theta y)$ | $uz (\cos \theta z)$ | $\cos \theta$ |
| Fuente F" | 2.48 | 7.62 | 1.45 | | | | | | | | |
| Punto 1 | 0.72 | -1.42 | 0.41 | 1.76 | 9.04 | 1.04 | 9.27 | 0.19 | 0.98 | 0.11 | 0.98 |
| Punto 2 | 0.72 | -1.42 | 1.24 | 1.76 | 9.04 | 0.21 | 9.21 | 0.19 | 0.98 | 0.02 | 0.98 |
| Punto 3 | 0.72 | -1.42 | 2.07 | 1.76 | 9.04 | 0.62 | 9.23 | 0.19 | 0.98 | 0.07 | 0.98 |
| Punto 4 | 0.00 | -1.42 | 0.41 | 2.48 | 9.04 | 1.04 | 9.43 | 0.26 | 0.96 | 0.11 | 0.96 |
| Punto 5 | 0.00 | -1.42 | 1.24 | 2.48 | 9.04 | 0.21 | 9.38 | 0.26 | 0.96 | 0.02 | 0.96 |
| Punto 6 | 0.00 | -1.42 | 2.07 | 2.48 | 9.04 | 0.62 | 9.39 | 0.26 | 0.96 | 0.07 | 0.96 |
| Punto 7 | -0.72 | -1.42 | 0.41 | 3.20 | 9.04 | 1.04 | 9.65 | 0.33 | 0.94 | 0.11 | 0.94 |
| Punto 8 | -0.72 | -1.42 | 1.24 | 3.20 | 9.04 | 0.21 | 9.59 | 0.33 | 0.94 | 0.02 | 0.94 |
| Punto 9 | -0.72 | -1.42 | 2.07 | 3.20 | 9.04 | 0.62 | 9.61 | 0.33 | 0.94 | 0.06 | 0.94 |
| Punto 10 | 1.08 | -0.36 | 0.41 | 1.40 | 7.98 | 1.04 | 8.16 | 0.21 | 0.97 | 0.14 | 0,21* |
| Punto 11 | 1.08 | -0.36 | 1.24 | 1.40 | 7.98 | 0.21 | 8.10 | 0.21 | 0.98 | 0.03 | 0,21* |
| Punto 12 | 1.08 | -0.36 | 2.07 | 1.40 | 7.98 | 0.62 | 8.12 | 0.21 | 0.97 | 0.08 | 0,21* |
| Punto 13 | 1.08 | -1.07 | 0.41 | 1.40 | 8.69 | 1.04 | 8.86 | 0.23 | 0.96 | 0.15 | 0,23* |
| Punto 14 | 1.08 | -1.07 | 1.24 | 1.40 | 8.69 | 0.21 | 8.80 | 0.23 | 0.97 | 0.03 | 0,23* |
| Punto 15 | 1.08 | -1.07 | 2.07 | 1.40 | 8.69 | 0.62 | 8.82 | 0.23 | 0.97 | 0.09 | 0,23* |
| Punto 16 | -1.08 | -0.36 | 0.41 | 3.56 | 7.98 | 1.04 | 8.79 | 0.40 | 0.91 | 0.12 | 0.40 |
| Punto 17 | -1.08 | -0.36 | 1.24 | 3.56 | 7.98 | 0.21 | 8.74 | 0.41 | 0.91 | 0.02 | 0.41 |
| Punto 18 | -1.08 | -0.36 | 2.07 | 3.56 | 7.98 | 0.62 | 8.76 | 0.41 | 0.91 | 0.07 | 0.41 |
| Punto 19 | -1.08 | -1.07 | 0.41 | 3.56 | 8.69 | 1.04 | 9.44 | 0.38 | 0.92 | 0.11 | 0.38 |
| Punto 20 | -1.08 | -1.07 | 1.24 | 3.56 | 8.69 | 0.21 | 9.39 | 0.38 | 0.93 | 0.02 | 0.38 |
| Punto 21 | -1.08 | -1.07 | 2.07 | 3.56 | 8.69 | 0.62 | 9.41 | 0.38 | 0.92 | 0.07 | 0.38 |
| Punto 22 | -0.72 | -0.36 | 2.48 | 3.20 | 7.98 | 1.03 | 8.65 | 0.37 | 0.92 | 0.12 | 0.12 |
| Punto 23 | 0.00 | -0.36 | 2.48 | 2.48 | 7.98 | 1.03 | 8.41 | 0.29 | 0.95 | 0.12 | 0.12 |
| Punto 24 | 0.72 | -0.36 | 2.48 | 1.76 | 7.98 | 1.03 | 8.23 | 0.21 | 0.97 | 0.13 | 0.13 |
| Punto 25 | -0.72 | -1.07 | 2.48 | 3.20 | 8.69 | 1.03 | 9.31 | 0.34 | 0.93 | 0.11 | 0.11 |
| Punto 26 | 0.00 | -1.07 | 2.48 | 2.48 | 8.69 | 1.03 | 9.09 | 0.27 | 0.96 | 0.11 | 0.11 |
| Punto 27 | 0.72 | -1.07 | 2.48 | 1.76 | 8.69 | 1.03 | 8.92 | 0.20 | 0.97 | 0.12 | 0.12 |

Tabla 8.6: Coordenadas, diferencias entre las coordenadas de los 27 puntos y la fuente F" (Δx , Δy , Δz), distancia total y cosenos de θ para las diferentes coordenadas. Nota*: En los casos de los puntos 10, 11, 12, 13, 14 y 15, la influencia que se considera en las proyecciones es la de la parte exterior del panel absorbente de la derecha de la fuente. Así, el $\cos \theta$ para estos puntos se obtiene considerando las coordenadas de F" como: $(-0,46, -7,62, 1,45)m$

| | Coordenadas | | | Proyecciones | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------|-------|--------------|------------|------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| | x | y | z | Δx | Δy | Δz | d | $ux (\cos \theta x)$ | $uy (\cos \theta y)$ | $uz (\cos \theta z)$ | $\cos \theta$ |
| Fuente F''' | 2.48 | 7.62 | -1.45 | | | | | | | | |
| Punto 1 | 0.72 | -1.42 | 0.41 | 1.76 | 9.04 | 1.86 | 9.40 | 0.19 | 0.96 | 0.20 | 0.96 |
| Punto 2 | 0.72 | -1.42 | 1.24 | 1.76 | 9.04 | 2.69 | 9.59 | 0.18 | 0.94 | 0.28 | 0.94 |
| Punto 3 | 0.72 | -1.42 | 2.07 | 1.76 | 9.04 | 3.52 | 9.86 | 0.18 | 0.92 | 0.36 | 0.92 |
| Punto 4 | 0.00 | -1.42 | 0.41 | 2.48 | 9.04 | 1.86 | 9.56 | 0.26 | 0.95 | 0.19 | 0.95 |
| Punto 5 | 0.00 | -1.42 | 1.24 | 2.48 | 9.04 | 2.69 | 9.75 | 0.25 | 0.93 | 0.28 | 0.93 |
| Punto 6 | 0.00 | -1.42 | 2.07 | 2.48 | 9.04 | 3.52 | 10.01 | 0.25 | 0.90 | 0.35 | 0.90 |
| Punto 7 | -0.72 | -1.42 | 0.41 | 3.20 | 9.04 | 1.86 | 9.77 | 0.33 | 0.93 | 0.19 | 0.93 |
| Punto 8 | -0.72 | -1.42 | 1.24 | 3.20 | 9.04 | 2.69 | 9.96 | 0.32 | 0.91 | 0.27 | 0.91 |
| Punto 9 | -0.72 | -1.42 | 2.07 | 3.20 | 9.04 | 3.52 | 10.21 | 0.31 | 0.89 | 0.34 | 0.89 |
| Punto 10 | 1.08 | -0.36 | 0.41 | 1.40 | 7.98 | 1.86 | 8.31 | 0.20 | 0.95 | 0.24 | 0,20* |
| Punto 11 | 1.08 | -0.36 | 1.24 | 1.40 | 7.98 | 2.69 | 8.53 | 0.19 | 0.92 | 0.34 | 0,19* |
| Punto 12 | 1.08 | -0.36 | 2.07 | 1.40 | 7.98 | 3.52 | 8.83 | 0.19 | 0.88 | 0.43 | 0,19* |
| Punto 13 | 1.08 | -1.07 | 0.41 | 1.40 | 8.69 | 1.86 | 8.99 | 0.22 | 0.94 | 0.27 | 0,22* |
| Punto 14 | 1.08 | -1.07 | 1.24 | 1.40 | 8.69 | 2.69 | 9.20 | 0.21 | 0.90 | 0.37 | 0,21* |
| Punto 15 | 1.08 | -1.07 | 2.07 | 1.40 | 8.69 | 3.52 | 9.47 | 0.20 | 0.86 | 0.46 | 0,20* |
| Punto 16 | -1.08 | -0.36 | 0.41 | 3.56 | 7.98 | 1.86 | 8.93 | 0.40 | 0.89 | 0.21 | 0.40 |
| Punto 17 | -1.08 | -0.36 | 1.24 | 3.56 | 7.98 | 2.69 | 9.14 | 0.39 | 0.87 | 0.29 | 0.39 |
| Punto 18 | -1.08 | -0.36 | 2.07 | 3.56 | 7.98 | 3.52 | 9.41 | 0.38 | 0.85 | 0.37 | 0.38 |
| Punto 19 | -1.08 | -1.07 | 0.41 | 3.56 | 8.69 | 1.86 | 9.57 | 0.37 | 0.91 | 0.19 | 0.37 |
| Punto 20 | -1.08 | -1.07 | 1.24 | 3.56 | 8.69 | 2.69 | 9.76 | 0.36 | 0.89 | 0.28 | 0.36 |
| Punto 21 | -1.08 | -1.07 | 2.07 | 3.56 | 8.69 | 3.52 | 10.02 | 0.36 | 0.87 | 0.35 | 0.36 |
| Punto 22 | -0.72 | -0.36 | 2.48 | 3.20 | 7.98 | 3.93 | 9.45 | 0.34 | 0.84 | 0.42 | 0.42 |
| Punto 23 | 0.00 | -0.36 | 2.48 | 2.48 | 7.98 | 3.93 | 9.23 | 0.27 | 0.86 | 0.43 | 0.43 |
| Punto 24 | 0.72 | -0.36 | 2.48 | 1.76 | 7.98 | 3.93 | 9.06 | 0.19 | 0.88 | 0.43 | 0.43 |
| Punto 25 | -0.72 | -1.07 | 2.48 | 3.20 | 8.69 | 3.93 | 10.06 | 0.32 | 0.86 | 0.39 | 0.39 |
| Punto 26 | 0.00 | -1.07 | 2.48 | 2.48 | 8.69 | 3.93 | 9.85 | 0.25 | 0.88 | 0.40 | 0.40 |
| Punto 27 | 0.72 | -1.07 | 2.48 | 1.76 | 8.69 | 3.93 | 9.69 | 0.18 | 0.90 | 0.41 | 0.41 |

Tabla 8.7: Coordenadas, diferencias entre las coordenadas de los 27 puntos y la fuente F''' (Δx , Δy , Δz), distancia total y cosenos de θ para las diferentes coordenadas. Nota*: En los casos de los puntos 10, 11, 12, 13, 14 y 15, la influencia que se considera en las proyecciones es la de la parte exterior del panel absorbente de la derecha de la fuente. Así, el $\cos \theta$ para estos puntos se obtiene considerando las coordenadas de F''' como: $(-0,46, -7,62, -1,45)m$

Para mostrar el proceso de cálculo de las potencias W_{Id} y W_{Ir} , y no repetir la secuencia para los 27 puntos, se obtendrán los valores de W_{1Id} y W_{1Ir} para el punto 1 a modo de ejemplo. De esta forma, se define:

I_{f1} es la intensidad que llega al punto 1 en la dirección radial desde la fuente implicada, la fuente omnidireccional, como puede verse en la ecuación (8.12).

$$I_{f1} = \left(\frac{W}{4 \cdot \pi \cdot d^2} \right) \quad (8.12)$$

Donde:

$$d = \sqrt{(\Delta_x)^2 + (\Delta_y)^2 + (\Delta_z)^2} \quad (8.13)$$

Y siendo el nivel acústico de I_{f1} :

$$LI_{f1} = Lp_1 = 10 \cdot \log \left(\frac{I_{f1}}{1 \cdot 10^{-12}} \right) \quad (8.14)$$

A partir de la intensidad radial se puede obtener su componente normal a partir del $\cos \theta$.

De esta forma, se tendrán cuatro expresiones a partir de esta intensidad dependiendo de las fuentes sonoras de origen, teniendo I_{d1} , I'_{d1} para el caso de las fuentes F y F' , ecuaciones (8.15) y (8.16), e I_{r1}'' , I_{r1}''' para el caso de las fuentes F'' y F''' , ecuaciones (8.17) y (8.18), donde para cada una de las cuatro intensidades, se tendrá una intensidad radial concreta, que depende del valor de d , y de un $\cos \theta$ específico.

$$I_{d1} = I_{f1} \cdot \cos \theta_{(F)} \quad (8.15)$$

$$I'_{d1} = I_{f1'} \cdot \cos \theta_{(F')} \quad (8.16)$$

$$I_{r1}'' = I_{f1''} \cdot \cos \theta_{(F'')} \quad (8.17)$$

$$I_{r1}''' = I_{f1'''} \cdot \cos \theta_{(F''')} \quad (8.18)$$

Por último, se obtiene $W1_{Id}$ y $W1_{Ir}$ utilizando las intensidades I_{d1} , I'_{d1} e I_{r1}'' , I_{r1}''' respectivamente.

$$W1_{Id} = (I_{d1} + I'_{d1}) \cdot S1 \quad (8.19)$$

$$W1_{Ir} = (I_{r1}'' + I_{r1}''') \cdot S1 \quad (8.20)$$

Así, los datos obtenidos para el punto 1, para cada frecuencia, se detallan en la *Tabla C.1* y siguiendo el mismo procedimiento se calculan los valores de W_{Id} y W_{Ir} para los 26 puntos restantes, resultados que son mostrando en el Anexo C.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | | Lw _{d1} (F'', F''') | Lw _{r-1} (F'', F''') |
|------------|-------|---|----------|---|-----------|--|------------|--|-------------|-------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | | $d = 6,53 \text{ m}$ $\cos \theta = -0,95$ | L_{F1} | $d = 6,71 \text{ m}$ $\cos \theta = -0,92$ | L_{F1}' | $d = 9,27 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,98$ | L_{F1}'' | $d = 9,40 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,96$ | L_{F1}''' | L_{F1}''' | | |
| (Hz) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 64.6 | 64.4(-) | 64.4 | 64.0(-) | 61.6 | 61.4 | 61.4 | 61.3 | 65.0(-) | 64.4 | |
| 160 | 97.6 | 70.3 | 70.1(-) | 70.1 | 69.7(-) | 67.3 | 67.2 | 67.2 | 67.0 | 70.7(-) | 70.1 | |
| 200 | 101.0 | 73.7 | 73.5(-) | 73.5 | 73.1(-) | 70.6 | 70.5 | 70.5 | 70.4 | 74.1(-) | 73.5 | |
| 250 | 99.2 | 71.9 | 71.7(-) | 71.7 | 71.3(-) | 68.9 | 68.7 | 68.7 | 68.6 | 72.3(-) | 71.7 | |
| 315 | 97.9 | 70.6 | 70.4(-) | 70.4 | 70.1(-) | 67.6 | 67.5 | 67.5 | 67.3 | 71.0(-) | 70.4 | |
| 400 | 96.3 | 69.1 | 68.8(-) | 68.8 | 68.5(-) | 66.0 | 65.9 | 65.9 | 65.7 | 69.4(-) | 68.8 | |
| 500 | 94.4 | 67.1 | 66.9(-) | 66.9 | 66.5(-) | 64.0 | 63.9 | 63.9 | 63.8 | 67.4(-) | 66.9 | |
| 630 | 91.3 | 64.0 | 63.8(-) | 63.8 | 63.4(-) | 61.0 | 60.9 | 60.9 | 60.7 | 64.4(-) | 63.8 | |
| 800 | 90.4 | 63.1 | 62.9(-) | 62.9 | 62.6(-) | 60.1 | 60.0 | 60.0 | 59.8 | 63.5(-) | 62.9 | |
| 1000 | 90.1 | 62.9 | 62.6(-) | 62.6 | 62.3(-) | 59.8 | 59.7 | 59.7 | 59.5 | 63.2(-) | 62.6 | |
| 1250 | 88.1 | 60.8 | 60.6(-) | 60.6 | 60.2(-) | 57.8 | 57.7 | 57.7 | 57.5 | 61.2(-) | 60.6 | |
| 1600 | 89.5 | 62.2 | 62.0(-) | 61.9 | 61.6(-) | 59.1 | 59.0 | 59.0 | 58.8 | 62.5(-) | 61.9 | |
| 2000 | 89.4 | 62.1 | 61.9(-) | 61.9 | 61.6(-) | 59.1 | 59.0 | 59.0 | 58.8 | 62.5(-) | 61.9 | |
| 2500 | 82.9 | 55.6 | 55.4(-) | 55.4 | 55.1(-) | 52.6 | 52.5 | 52.5 | 52.3 | 56.0(-) | 55.4 | |
| 3150 | 79.2 | 51.9 | 51.7(-) | 51.6 | 51.3(-) | 48.8 | 48.7 | 48.7 | 48.5 | 52.2(-) | 51.6 | |
| 4000 | 75.6 | 48.3 | 48.1(-) | 48.1 | 47.8(-) | 45.3 | 45.2 | 45.2 | 45.0 | 48.7(-) | 48.1 | |
| 5000 | 78.3 | 51.0 | 50.8(-) | 50.8 | 50.4(-) | 48.0 | 47.9 | 47.9 | 47.7 | 51.4(-) | 50.8 | |
| 6300 | 79.6 | 52.3 | 52.1(-) | 52.1 | 51.7(-) | 49.3 | 49.1 | 49.1 | 49.0 | 52.7(-) | 52.1 | |
| 8000 | 81.8 | 54.5 | 54.3(-) | 54.3 | 54.0(-) | 51.5 | 51.4 | 51.4 | 51.2 | 54.9(-) | 54.3 | |
| 10000 | 75.4 | 48.2 | 47.9(-) | 47.9 | 47.6(-) | 45.1 | 45.0 | 45.0 | 44.8 | 48.5(-) | 47.9 | |

Tabla 8.8: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo. Punto 1

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

Para concluir, las *Tablas 8.9, 8.10, 8.11 y 8.12* muestran la potencia que se aporta en cada uno de los 27 puntos de medida para obtener finalmente los valores de W_{Id} y W_{Ir} para las frecuencias de 125 a 10000 Hz.

| Frecuencia (Hz) | W1 (W) | W2 (W) | W3 (W) | W4 (W) | W5 (W) | W6 (W) | W7 (W) | W8 (W) | W9 (W) | W10 (W) | W11 (W) | W12 (W) | W13 (W) | W14 (W) | W15 (W) |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 125 | 3.13E-06(-) | 3.02E-06(-) | 2.81E-06(-) | 2.83E-06(-) | 2.73E-06(-) | 2.56E-06(-) | 2.49E-06(-) | 2.41E-06(-) | 2.27E-06(-) | 4.69E-07(-) | 4.55E-07(-) | 4.30E-07(-) | 6.23E-07(-) | 6.02E-07(-) | 5.63E-07(-) |
| 160 | 1.17E-05(-) | 1.13E-05(-) | 1.05E-05(-) | 1.06E-05(-) | 1.02E-05(-) | 9.54E-06(-) | 9.31E-06(-) | 9.02E-06(-) | 8.47E-06(-) | 1.75E-06(-) | 1.70E-06(-) | 1.61E-06(-) | 2.33E-06(-) | 2.25E-06(-) | 2.10E-06(-) |
| 200 | 2.54E-05(-) | 2.45E-05(-) | 2.28E-05(-) | 2.29E-05(-) | 2.22E-05(-) | 2.07E-05(-) | 2.02E-05(-) | 1.90E-05(-) | 1.84E-05(-) | 3.80E-06(-) | 3.70E-06(-) | 3.49E-06(-) | 5.05E-06(-) | 4.89E-06(-) | 4.57E-06(-) |
| 250 | 1.68E-05(+) | 1.62E-05(-) | 1.51E-05(+) | 1.52E-05(-) | 1.47E-05(+) | 1.37E-05(+) | 1.34E-05(+) | 1.30E-05(+) | 1.22E-05(-) | 2.52E-06(-) | 2.45E-06(-) | 2.31E-06(+) | 3.35E-06(-) | 3.23E-06(-) | 3.03E-06(-) |
| 315 | 1.26E-05(-) | 1.21E-05(-) | 1.13E-05(-) | 1.14E-05(-) | 1.10E-05(-) | 1.03E-05(-) | 1.00E-05(-) | 9.71E-06(-) | 9.12E-06(-) | 1.89E-06(-) | 1.83E-06(-) | 1.73E-06(-) | 2.50E-06(-) | 2.42E-06(-) | 2.27E-06(-) |
| 400 | 8.72E-06(-) | 8.42E-06(-) | 7.84E-06(-) | 7.88E-06(-) | 7.62E-06(-) | 7.13E-06(-) | 6.95E-06(-) | 6.73E-06(-) | 6.32E-06(-) | 1.31E-06(-) | 1.27E-06(-) | 1.20E-06(-) | 1.74E-06(-) | 1.68E-06(-) | 1.57E-06(-) |
| 500 | 5.55E-06(-) | 5.39E-06(-) | 4.99E-06(-) | 5.02E-06(-) | 4.85E-06(-) | 4.53E-06(-) | 4.42E-06(-) | 4.29E-06(-) | 4.02E-06(-) | 8.32E-07(-) | 8.08E-07(-) | 7.63E-07(-) | 1.10E-06(-) | 1.07E-06(-) | 9.99E-07(-) |
| 630 | 2.73E-06(-) | 2.64E-06(-) | 2.46E-06(-) | 2.47E-06(-) | 2.39E-06(-) | 2.23E-06(-) | 2.18E-06(-) | 2.11E-06(-) | 1.98E-06(-) | 4.10E-07(-) | 3.98E-07(-) | 3.76E-07(-) | 5.44E-07(-) | 5.26E-07(-) | 4.92E-07(-) |
| 800 | 2.24E-06(-) | 2.16E-06(-) | 2.01E-06(-) | 2.02E-06(-) | 1.96E-06(-) | 1.83E-06(-) | 1.78E-06(-) | 1.73E-06(-) | 1.62E-06(-) | 3.36E-07(-) | 3.26E-07(-) | 3.08E-07(-) | 4.46E-07(-) | 4.31E-07(-) | 4.03E-07(-) |
| 1000 | 2.09E-06(-) | 2.02E-06(-) | 1.88E-06(-) | 1.89E-06(-) | 1.83E-06(-) | 1.71E-06(-) | 1.67E-06(-) | 1.61E-06(-) | 1.52E-06(-) | 3.14E-07(-) | 3.04E-07(-) | 2.87E-07(-) | 4.16E-07(-) | 4.03E-07(-) | 3.77E-07(-) |
| 1250 | 1.31E-06(-) | 1.26E-06(-) | 1.18E-06(-) | 1.18E-06(-) | 1.14E-06(-) | 1.07E-06(-) | 1.04E-06(-) | 1.01E-06(-) | 9.49E-07(-) | 1.96E-07(-) | 1.91E-07(-) | 1.80E-07(-) | 2.61E-07(-) | 2.52E-07(-) | 2.36E-07(-) |
| 1600 | 1.79E-06(-) | 1.73E-06(-) | 1.61E-06(-) | 1.62E-06(-) | 1.57E-06(-) | 1.46E-06(-) | 1.43E-06(-) | 1.38E-06(-) | 1.30E-06(-) | 2.69E-07(-) | 2.61E-07(-) | 2.46E-07(-) | 3.57E-07(-) | 3.45E-07(-) | 3.23E-07(-) |
| 2000 | 1.77E-06(-) | 1.71E-06(-) | 1.60E-06(-) | 1.60E-06(-) | 1.55E-06(-) | 1.45E-06(-) | 1.41E-06(-) | 1.37E-06(-) | 1.29E-06(-) | 2.66E-07(-) | 2.58E-07(-) | 2.44E-07(-) | 3.53E-07(-) | 3.41E-07(-) | 3.19E-07(-) |
| 2500 | 3.97E-07(+) | 3.83E-07(-) | 3.57E-07(-) | 3.59E-07(-) | 3.47E-07(-) | 3.25E-07(-) | 3.17E-07(-) | 3.07E-07(-) | 2.88E-07(-) | 5.96E-08(-) | 5.78E-08(-) | 5.46E-08(-) | 7.91E-08(-) | 7.65E-08(-) | 7.15E-08(-) |
| 3150 | 1.67E-07(-) | 1.61E-07(-) | 1.50E-07(-) | 1.51E-07(-) | 1.46E-07(-) | 1.36E-07(-) | 1.33E-07(-) | 1.29E-07(-) | 1.21E-07(-) | 2.50E-08(-) | 2.43E-08(-) | 2.30E-08(-) | 3.33E-08(-) | 3.22E-08(-) | 3.01E-08(-) |
| 4000 | 7.42E-08(-) | 7.16E-08(-) | 6.67E-08(-) | 6.70E-08(-) | 6.48E-08(-) | 6.06E-08(-) | 5.91E-08(-) | 5.73E-08(-) | 5.38E-08(-) | 1.11E-08(-) | 1.08E-08(-) | 1.02E-08(-) | 1.48E-08(-) | 1.43E-08(-) | 1.34E-08(-) |
| 5000 | 1.37E-07(+) | 1.32E-07(-) | 1.23E-07(+) | 1.24E-07(-) | 1.20E-07(-) | 1.12E-07(-) | 1.09E-07(-) | 1.06E-07(-) | 9.95E-08(-) | 2.06E-08(-) | 2.00E-08(-) | 1.80E-08(-) | 2.73E-08(-) | 2.64E-08(-) | 2.47E-08(-) |
| 6300 | 1.84E-07(-) | 1.78E-07(-) | 1.66E-07(-) | 1.66E-07(-) | 1.61E-07(-) | 1.50E-07(-) | 1.47E-07(-) | 1.42E-07(-) | 1.33E-07(-) | 2.76E-08(-) | 2.68E-08(-) | 2.53E-08(-) | 3.66E-08(-) | 3.54E-08(-) | 3.31E-08(-) |
| 8000 | 3.08E-07(-) | 2.97E-07(-) | 2.77E-07(-) | 2.78E-07(-) | 2.69E-07(-) | 2.52E-07(-) | 2.45E-07(-) | 2.38E-07(-) | 2.23E-07(-) | 4.62E-08(-) | 4.48E-08(-) | 4.23E-08(-) | 6.13E-08(-) | 5.93E-08(-) | 5.55E-08(-) |
| 10000 | 7.10E-08(-) | 6.85E-08(-) | 6.38E-08(-) | 6.41E-08(-) | 6.20E-08(-) | 5.80E-08(-) | 5.66E-08(-) | 5.48E-08(-) | 5.14E-08(-) | 1.06E-08(-) | 1.03E-08(-) | 9.75E-09(-) | 1.41E-08(-) | 1.37E-08(-) | 1.28E-08(-) |

Tabla 8.9: Potencias acústicas teóricas obtenidas con el método de las imágenes debidas a las fuentes F y F' (I). Puntos 1-15

| Frecuencia (Hz) | W16 (W) | W17 (W) | W18 (W) | W19 (W) | W20 (W) | W21 (W) | W22 (W) | W23 (W) | W24 (W) | W25 (W) | W26 (W) | W27 (W) | W_{Id} (W) | LW_{Id} (dB) |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|-------------------|
| 125 | 9.21E-07 | 8.97E-07 | 8.54E-07 | 1.16E-06 | 1.13E-06 | 1.07E-06 | 4.81E-07 | 5.23E-07 | 5.60E-07 | 5.95E-07 | 6.57E-07 | 7.11E-07 | 1.78E-05(-) | 72.5 |
| 160 | 3.44E-06 | 3.35E-06 | 3.19E-06 | 4.35E-06 | 4.23E-06 | 3.99E-06 | 1.80E-06 | 1.96E-06 | 2.09E-06 | 2.22E-06 | 2.45E-06 | 2.66E-06 | 6.66E-05(-) | 78.2 |
| 200 | 7.47E-06 | 7.28E-06 | 6.93E-06 | 9.45E-06 | 9.18E-06 | 8.67E-06 | 3.90E-06 | 4.25E-06 | 4.54E-06 | 4.83E-06 | 5.33E-06 | 5.77E-06 | 1.45E-04(-) | 81.6 |
| 250 | 4.95E-06 | 4.82E-06 | 4.59E-06 | 6.26E-06 | 6.08E-06 | 5.74E-06 | 2.58E-06 | 2.81E-06 | 3.01E-06 | 3.20E-06 | 3.53E-06 | 3.82E-06 | 9.58E-05(-) | 79.8 |
| 315 | 3.70E-06 | 3.61E-06 | 3.43E-06 | 4.68E-06 | 4.55E-06 | 4.30E-06 | 1.93E-06 | 2.11E-06 | 2.25E-06 | 2.39E-06 | 2.64E-06 | 2.86E-06 | 7.17E-05(-) | 78.6 |
| 400 | 2.57E-06 | 2.50E-06 | 2.38E-06 | 3.25E-06 | 3.15E-06 | 2.98E-06 | 1.34E-06 | 1.46E-06 | 1.56E-06 | 1.66E-06 | 1.83E-06 | 1.98E-06 | 4.97E-05(-) | 77.0 |
| 500 | 1.63E-06 | 1.59E-06 | 1.51E-06 | 2.07E-06 | 2.01E-06 | 1.90E-06 | 8.53E-07 | 9.29E-07 | 9.93E-07 | 1.06E-06 | 1.17E-06 | 1.26E-06 | 3.16E-05(-) | 75.0 |
| 630 | 8.05E-07 | 7.85E-07 | 7.46E-07 | 1.02E-06 | 9.89E-07 | 9.34E-07 | 4.20E-07 | 4.58E-07 | 4.89E-07 | 5.20E-07 | 5.74E-07 | 6.21E-07 | 1.56E-05(-) | 71.9 |
| 800 | 6.59E-07 | 6.42E-07 | 6.11E-07 | 8.34E-07 | 8.10E-07 | 7.65E-07 | 3.44E-07 | 3.75E-07 | 4.01E-07 | 4.26E-07 | 4.70E-07 | 5.09E-07 | 1.28E-05(-) | 71.1 |
| 1000 | 6.16E-07 | 6.00E-07 | 5.71E-07 | 7.79E-07 | 7.56E-07 | 7.15E-07 | 3.21E-07 | 3.50E-07 | 3.74E-07 | 3.98E-07 | 4.39E-07 | 4.75E-07 | 1.19E-05(-) | 70.8 |
| 1250 | 3.85E-07 | 3.76E-07 | 3.57E-07 | 4.87E-07 | 4.73E-07 | 4.47E-07 | 2.01E-07 | 2.19E-07 | 2.34E-07 | 2.49E-07 | 2.75E-07 | 2.97E-07 | 7.46E-06(-) | 68.7 |
| 1600 | 5.27E-07 | 5.14E-07 | 4.89E-07 | 6.67E-07 | 6.48E-07 | 6.12E-07 | 2.75E-07 | 3.00E-07 | 3.21E-07 | 3.41E-07 | 3.76E-07 | 4.07E-07 | 1.02E-05(-) | 70.1 |
| 2000 | 5.22E-07 | 5.09E-07 | 4.84E-07 | 6.60E-07 | 6.42E-07 | 6.06E-07 | 2.73E-07 | 2.97E-07 | 3.17E-07 | 3.37E-07 | 3.73E-07 | 4.03E-07 | 1.01E-05(-) | 70.1 |
| 2500 | 1.17E-07 | 1.14E-07 | 1.08E-07 | 1.48E-07 | 1.44E-07 | 1.36E-07 | 6.11E-08 | 6.65E-08 | 7.11E-08 | 7.56E-08 | 8.35E-08 | 9.03E-08 | 2.26E-06(-) | 63.6 |
| 3150 | 4.92E-08 | 4.79E-08 | 4.56E-08 | 6.22E-08 | 6.04E-08 | 5.71E-08 | 2.57E-08 | 2.80E-08 | 2.99E-08 | 3.18E-08 | 3.51E-08 | 3.80E-08 | 9.52E-07(-) | 59.8 |
| 4000 | 2.18E-08 | 2.13E-08 | 2.02E-08 | 2.76E-08 | 2.68E-08 | 2.53E-08 | 1.14E-08 | 1.24E-08 | 1.33E-08 | 1.41E-08 | 1.56E-08 | 1.69E-08 | 4.23E-07(-) | 56.3 |
| 5000 | 4.04E-08 | 3.94E-08 | 3.75E-08 | 5.11E-08 | 4.96E-08 | 4.69E-08 | 2.11E-08 | 2.30E-08 | 2.46E-08 | 2.61E-08 | 2.88E-08 | 3.12E-08 | 7.82E-07(-) | 58.9 |
| 6300 | 5.42E-08 | 5.28E-08 | 5.02E-08 | 6.85E-08 | 6.66E-08 | 6.29E-08 | 2.83E-08 | 3.08E-08 | 3.29E-08 | 3.50E-08 | 3.87E-08 | 4.18E-08 | 1.05E-06(-) | 60.2 |
| 8000 | 9.06E-08 | 8.84E-08 | 8.40E-08 | 1.15E-07 | 1.11E-07 | 1.05E-07 | 4.73E-08 | 5.15E-08 | 5.51E-08 | 5.86E-08 | 6.47E-08 | 7.00E-08 | 1.76E-06(-) | 62.4 |
| 10000 | 2.09E-08 | 2.04E-08 | 1.94E-08 | 2.64E-08 | 2.57E-08 | 2.42E-08 | 1.09E-08 | 1.19E-08 | 1.27E-08 | 1.35E-08 | 1.49E-08 | 1.61E-08 | 4.04E-07(-) | 56.1 |

Tabla 8.10: Potencias acústicas teóricas obtenidas con el método de las imágenes debidas a las fuentes F y F' (II). Puntos 16-27, W_{Id} y LW_{Id}

| Frecuencia (Hz) | W1 (W) | W2 (W) | W3 (W) | W4 (W) | W5 (W) | W6 (W) | W7 (W) | W8 (W) | W9 (W) | W10 (W) | W11 (W) | W12 (W) | W13 (W) | W14 (W) | W15 (W) |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 125 | 1.63E-06 | 1.59E-06 | 1.53E-06 | 1.54E-06 | 1.51E-06 | 1.45E-06 | 1.44E-06 | 1.42E-06 | 1.36E-06 | 5.10E-07 | 4.96E-07 | 4.68E-07 | 6.76E-07 | 6.54E-07 | 6.12E-07 |
| 160 | 6.07E-06 | 5.95E-06 | 5.71E-06 | 5.77E-06 | 5.65E-06 | 5.43E-06 | 5.39E-06 | 5.29E-06 | 5.09E-06 | 1.91E-06 | 1.85E-06 | 1.75E-06 | 2.53E-06 | 2.44E-06 | 2.29E-06 |
| 200 | 1.32E-05 | 1.29E-05 | 1.24E-05 | 1.25E-05 | 1.23E-05 | 1.18E-05 | 1.17E-05 | 1.15E-05 | 1.11E-05 | 4.14E-06 | 4.02E-06 | 3.80E-06 | 5.49E-06 | 5.31E-06 | 4.97E-06 |
| 250 | 8.73E-06 | 8.55E-06 | 8.21E-06 | 8.29E-06 | 8.13E-06 | 7.81E-06 | 7.76E-06 | 7.61E-06 | 7.33E-06 | 2.74E-06 | 2.66E-06 | 2.51E-06 | 3.63E-06 | 3.51E-06 | 3.29E-06 |
| 315 | 6.54E-06 | 6.40E-06 | 6.15E-06 | 6.21E-06 | 6.09E-06 | 5.85E-06 | 5.81E-06 | 5.70E-06 | 5.49E-06 | 2.05E-06 | 1.99E-06 | 1.88E-06 | 2.72E-06 | 2.63E-06 | 2.46E-06 |
| 400 | 4.53E-06 | 4.44E-06 | 4.26E-06 | 4.30E-06 | 4.22E-06 | 4.06E-06 | 4.03E-06 | 3.95E-06 | 3.80E-06 | 1.42E-06 | 1.38E-06 | 1.30E-06 | 1.89E-06 | 1.82E-06 | 1.71E-06 |
| 500 | 2.88E-06 | 2.83E-06 | 2.71E-06 | 2.74E-06 | 2.68E-06 | 2.58E-06 | 2.56E-06 | 2.51E-06 | 2.42E-06 | 9.05E-07 | 8.79E-07 | 8.30E-07 | 1.20E-06 | 1.16E-06 | 1.09E-06 |
| 630 | 1.42E-06 | 1.39E-06 | 1.34E-06 | 1.35E-06 | 1.32E-06 | 1.27E-06 | 1.26E-06 | 1.24E-06 | 1.19E-06 | 4.46E-07 | 4.33E-07 | 4.09E-07 | 5.91E-07 | 5.72E-07 | 5.35E-07 |
| 800 | 1.16E-06 | 1.14E-06 | 1.09E-06 | 1.10E-06 | 1.08E-06 | 1.04E-06 | 1.03E-06 | 1.01E-06 | 9.76E-07 | 3.65E-07 | 3.55E-07 | 3.35E-07 | 4.84E-07 | 4.68E-07 | 4.38E-07 |
| 1000 | 1.09E-06 | 1.06E-06 | 1.02E-06 | 1.03E-06 | 1.01E-06 | 9.72E-07 | 9.66E-07 | 9.47E-07 | 9.12E-07 | 3.41E-07 | 3.31E-07 | 3.13E-07 | 4.52E-07 | 4.37E-07 | 4.09E-07 |
| 1250 | 6.80E-07 | 6.66E-07 | 6.40E-07 | 6.46E-07 | 6.33E-07 | 6.09E-07 | 6.04E-07 | 5.93E-07 | 5.71E-07 | 2.13E-07 | 2.07E-07 | 1.96E-07 | 2.83E-07 | 2.74E-07 | 2.56E-07 |
| 1600 | 9.31E-07 | 9.12E-07 | 8.76E-07 | 8.84E-07 | 8.67E-07 | 8.33E-07 | 8.27E-07 | 8.11E-07 | 7.81E-07 | 2.92E-07 | 2.84E-07 | 2.68E-07 | 3.87E-07 | 3.74E-07 | 3.50E-07 |
| 2000 | 9.22E-07 | 9.03E-07 | 8.67E-07 | 8.75E-07 | 8.58E-07 | 8.25E-07 | 8.19E-07 | 8.03E-07 | 7.73E-07 | 2.89E-07 | 2.81E-07 | 2.65E-07 | 3.83E-07 | 3.71E-07 | 3.47E-07 |
| 2500 | 2.06E-07 | 2.02E-07 | 1.94E-07 | 1.96E-07 | 1.92E-07 | 1.85E-07 | 1.83E-07 | 1.80E-07 | 1.73E-07 | 6.48E-08 | 6.30E-08 | 5.95E-08 | 8.59E-08 | 8.31E-08 | 7.77E-08 |
| 3150 | 8.68E-08 | 8.51E-08 | 8.17E-08 | 8.24E-08 | 8.08E-08 | 7.77E-08 | 7.71E-08 | 7.57E-08 | 7.28E-08 | 2.73E-08 | 2.65E-08 | 2.50E-08 | 3.61E-08 | 3.49E-08 | 3.27E-08 |
| 4000 | 3.86E-08 | 3.78E-08 | 3.63E-08 | 3.66E-08 | 3.59E-08 | 3.45E-08 | 3.43E-08 | 3.36E-08 | 3.23E-08 | 1.21E-08 | 1.18E-08 | 1.11E-08 | 1.60E-08 | 1.55E-08 | 1.45E-08 |
| 5000 | 7.13E-08 | 6.99E-08 | 6.71E-08 | 6.77E-08 | 6.64E-08 | 6.38E-08 | 6.34E-08 | 6.22E-08 | 5.98E-08 | 2.24E-08 | 2.17E-08 | 2.05E-08 | 2.97E-08 | 2.87E-08 | 2.68E-08 |
| 6300 | 9.57E-08 | 9.37E-08 | 9.00E-08 | 9.08E-08 | 8.90E-08 | 8.56E-08 | 8.50E-08 | 8.34E-08 | 8.03E-08 | 3.00E-08 | 2.92E-08 | 2.75E-08 | 3.98E-08 | 3.85E-08 | 3.60E-08 |
| 8000 | 1.60E-07 | 1.57E-07 | 1.51E-07 | 1.52E-07 | 1.49E-07 | 1.43E-07 | 1.42E-07 | 1.39E-07 | 1.34E-07 | 5.02E-08 | 4.88E-08 | 4.61E-08 | 6.66E-08 | 6.44E-08 | 6.02E-08 |
| 10000 | 3.69E-08 | 3.61E-08 | 3.47E-08 | 3.50E-08 | 3.43E-08 | 3.30E-08 | 3.28E-08 | 3.21E-08 | 3.09E-08 | 1.16E-08 | 1.12E-08 | 1.06E-08 | 1.53E-08 | 1.48E-08 | 1.39E-08 |

Tabla 8.11: Potencias acústicas teóricas obtenidas con el método de las imágenes debidas a las fuentes F'' y F''' (I). Puntos 1-15

| Frecuencia (Hz) | W16 (W) | W17 (W) | W18 (W) | W19 (W) | W20 (W) | W21 (W) | W22 (W) | W23 (W) | W24 (W) | W25 (W) | W26 (W) | W27 (W) | W _{Tr} (W) | LW _{Tr} (dB) |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------------|--------------------------|
| 125 | 7.37E-07 | 7.21E-07 | 6.89E-07 | 5.97E-07 | 5.85E-07 | 5.63E-07 | 3.92E-07 | 4.22E-07 | 4.47E-07 | 3.22E-07 | 3.44E-07 | 3.62E-07 | 2.31E-05 | 73.6 |
| 160 | 2.75E-06 | 2.69E-06 | 2.57E-06 | 2.23E-06 | 2.19E-06 | 2.10E-06 | 1.46E-06 | 1.58E-06 | 1.67E-06 | 1.20E-06 | 1.28E-06 | 1.35E-06 | 8.62E-05 | 79.4 |
| 200 | 5.98E-06 | 5.85E-06 | 5.59E-06 | 4.85E-06 | 4.75E-06 | 4.57E-06 | 3.18E-06 | 3.42E-06 | 3.63E-06 | 2.62E-06 | 2.79E-06 | 2.93E-06 | 1.87E-04 | 82.7 |
| 250 | 3.96E-06 | 3.87E-06 | 3.70E-06 | 3.21E-06 | 3.14E-06 | 3.02E-06 | 2.11E-06 | 2.27E-06 | 2.40E-06 | 1.73E-06 | 1.85E-06 | 1.94E-06 | 1.24E-04 | 80.9 |
| 315 | 2.96E-06 | 2.90E-06 | 2.77E-06 | 2.40E-06 | 2.35E-06 | 2.26E-06 | 1.58E-06 | 1.70E-06 | 1.80E-06 | 1.30E-06 | 1.38E-06 | 1.45E-06 | 9.28E-05 | 79.7 |
| 400 | 2.06E-06 | 2.01E-06 | 1.92E-06 | 1.67E-06 | 1.63E-06 | 1.57E-06 | 1.09E-06 | 1.18E-06 | 1.25E-06 | 8.99E-07 | 9.59E-07 | 1.01E-06 | 6.44E-05 | 78.1 |
| 500 | 1.31E-06 | 1.28E-06 | 1.22E-06 | 1.06E-06 | 1.04E-06 | 9.99E-07 | 6.95E-07 | 7.49E-07 | 7.93E-07 | 5.72E-07 | 6.10E-07 | 6.42E-07 | 4.10E-05 | 76.1 |
| 630 | 6.44E-07 | 6.30E-07 | 6.03E-07 | 5.22E-07 | 5.12E-07 | 4.92E-07 | 3.43E-07 | 3.69E-07 | 3.91E-07 | 2.82E-07 | 3.01E-07 | 3.16E-07 | 2.02E-05 | 73.1 |
| 800 | 5.28E-07 | 5.16E-07 | 4.93E-07 | 4.27E-07 | 4.19E-07 | 4.03E-07 | 2.81E-07 | 3.02E-07 | 3.20E-07 | 2.31E-07 | 2.46E-07 | 2.59E-07 | 1.65E-05 | 72.2 |
| 1000 | 4.93E-07 | 4.82E-07 | 4.61E-07 | 3.99E-07 | 3.91E-07 | 3.76E-07 | 2.62E-07 | 2.82E-07 | 2.99E-07 | 2.16E-07 | 2.30E-07 | 2.42E-07 | 1.54E-05 | 71.9 |
| 1250 | 3.08E-07 | 3.02E-07 | 2.88E-07 | 2.50E-07 | 2.45E-07 | 2.35E-07 | 1.64E-07 | 1.77E-07 | 1.87E-07 | 1.35E-07 | 1.44E-07 | 1.51E-07 | 9.66E-06 | 69.9 |
| 1600 | 4.22E-07 | 4.13E-07 | 3.95E-07 | 3.42E-07 | 3.35E-07 | 3.22E-07 | 2.24E-07 | 2.42E-07 | 2.56E-07 | 1.85E-07 | 1.97E-07 | 2.07E-07 | 1.32E-05 | 71.2 |
| 2000 | 4.18E-07 | 4.09E-07 | 3.91E-07 | 3.39E-07 | 3.32E-07 | 3.19E-07 | 2.22E-07 | 2.39E-07 | 2.53E-07 | 1.83E-07 | 1.95E-07 | 2.05E-07 | 1.31E-05 | 71.2 |
| 2500 | 9.36E-08 | 9.15E-08 | 8.76E-08 | 7.59E-08 | 7.44E-08 | 7.15E-08 | 4.98E-08 | 5.36E-08 | 5.68E-08 | 4.10E-08 | 4.37E-08 | 4.59E-08 | 2.93E-06 | 64.7 |
| 3150 | 3.94E-08 | 3.85E-08 | 3.68E-08 | 3.19E-08 | 3.13E-08 | 3.01E-08 | 2.09E-08 | 2.25E-08 | 2.39E-08 | 1.72E-08 | 1.84E-08 | 1.93E-08 | 1.23E-06 | 60.9 |
| 4000 | 1.75E-08 | 1.71E-08 | 1.64E-08 | 1.42E-08 | 1.39E-08 | 1.33E-08 | 9.30E-09 | 1.00E-08 | 1.06E-08 | 7.65E-09 | 8.16E-09 | 8.58E-09 | 5.47E-07 | 57.4 |
| 5000 | 3.23E-08 | 3.16E-08 | 3.02E-08 | 2.62E-08 | 2.57E-08 | 2.47E-08 | 1.72E-08 | 1.85E-08 | 1.96E-08 | 1.41E-08 | 1.51E-08 | 1.59E-08 | 1.01E-06 | 60.1 |
| 6300 | 4.34E-08 | 4.24E-08 | 4.06E-08 | 3.51E-08 | 3.44E-08 | 3.31E-08 | 2.31E-08 | 2.48E-08 | 2.63E-08 | 1.90E-08 | 2.02E-08 | 2.13E-08 | 1.36E-06 | 61.3 |
| 8000 | 7.26E-08 | 7.10E-08 | 6.79E-08 | 5.88E-08 | 5.76E-08 | 5.54E-08 | 3.86E-08 | 4.15E-08 | 4.40E-08 | 3.18E-08 | 3.39E-08 | 3.56E-08 | 2.27E-06 | 63.6 |
| 10000 | 1.67E-08 | 1.64E-08 | 1.56E-08 | 1.35E-08 | 1.33E-08 | 1.28E-08 | 8.89E-09 | 9.57E-09 | 1.01E-08 | 7.32E-09 | 7.80E-09 | 8.21E-09 | 5.24E-07 | 57.2 |

Tabla 8.12: Potencias acústicas teóricas obtenidas con el método de las imágenes debidas a las fuentes F^m y $F^{m'}$ (II). Puntos 16-27, W_{Tr} y LW_{Tr}

8.6. Obtención de la absorción de los paneles aislantes.

Una vez conocidos $WI_{(SF)}$, $WI_{(CF)}$, WI_d y WI_r , se pueden obtener los valores del coeficiente de absorción α de los paneles absorbentes resolviendo la ecuación (8.8). Los resultados obtenidos junto con los niveles de potencia utilizados se muestran en la *Tabla 8.13* y en la *Figura 8.13* se representa los coeficientes de absorción de los paneles absorbentes para las frecuencias de 125 a 10000 Hz.

| Frecuencia (Hz) | $LWI_{(SF)}$ (dB) | $LWI_{(CF)}$ (dB) | LWI_d (dB) | LWI_r (dB) | α |
|--------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|----------|
| 125 | 74.6 | 72.3 | 72.5 | 73.6 | 0.74 |
| 160 | 78.1 | 68.5 | 78.2 | 79.4 | 0.90 |
| 200 | 80.6 | 79.4 | 81.6 | 82.7 | 0.38 |
| 250 | 75.5 | 71.4 | 79.8 | 80.9 | 0.62 |
| 315 | 72.1 | 61.5 | 78.6 | 79.7 | 0.39 |
| 400 | 76.2 | 77.0 | 77.0 | 78.1 | 0.11 |
| 500 | 72.3 | 67.8 | 75.0 | 76.1 | 0.50 |
| 630 | 78.2 | 78.8 | 71.9 | 73.1 | -0.25 |
| 800 | 70.2 | 69.5 | 71.1 | 72.2 | 0.32 |
| 1000 | 69.1 | 69.8 | 70.8 | 71.9 | 0.14 |
| 1250 | 68.0 | 65.1 | 68.7 | 69.9 | 0.54 |
| 1600 | 65.5 | 60.3 | 70.1 | 71.2 | 0.41 |
| 2000 | 64.8 | 61.6 | 70.1 | 71.2 | 0.57 |
| 2500 | 66.0 | 64.5 | 63.6 | 64.7 | 0.64 |
| 3150 | 65.0 | 64.3 | 59.8 | 60.9 | 0.63 |
| 4000 | 63.1 | 63.4 | 56.3 | 57.4 | -0.07 |
| 5000 | 61.1 | 62.5 | 58.9 | 60.1 | -0.26 |
| 6300 | 60.6 | 61.7 | 60.2 | 61.3 | -0.02 |
| 8000 | 58.2 | 60.1 | 62.4 | 63.6 | 0.07 |
| 10000 | 55.3 | 58.0 | 56.1 | 57.2 | -0.34 |
| L | 86.3 | 84.7 | 87.4 | 88.6 | |

Tabla 8.13: Coeficientes de absorción de los paneles absorbentes y niveles de potencia utilizados en su cálculo para las frecuencias 125-10000 Hz

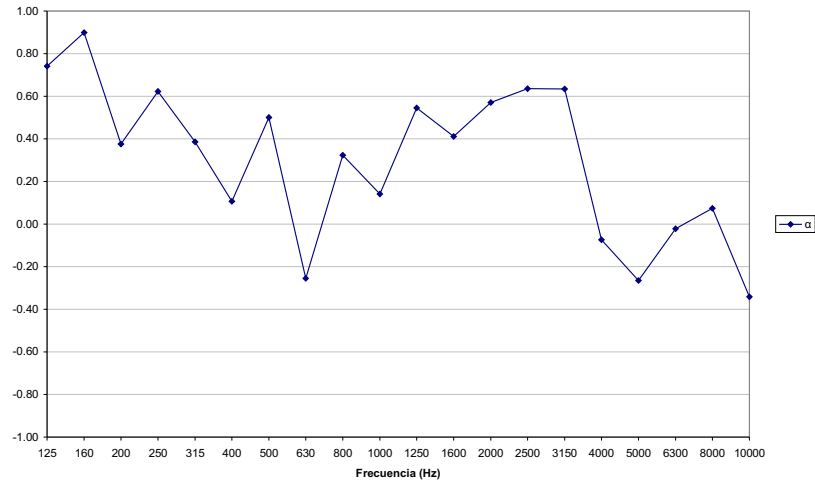


Figura 8.13: Coeficientes de absorción α de los paneles absorbentes para las frecuencias 125-10000 Hz

De los coeficientes de absorción obtenidos, hay que destacar que para las frecuencias de 630, 4000, 5000, 6300 y 10000 Hz se obtienen valores negativos, no excesivamente elevados, que pueden ser debidos a una deficiencia en la caracterización de los 27 elementos superficiales utilizando el método de medidas de intensidad en puntos discretos. En los próximos apartados se retomará el tema y se plantearán varias alternativas para tratar de solucionar esta deficiencia.

8.7. Obtención del factor Δ_{cos} que aproxime los espectros de potencia obtenidos por intensidad y por presión acústica.

Al comienzo de este capítulo cuando se plantearon las ecuaciones del balance de potencias, se introdujo un factor Δ_{cos} que representaba el incremento en las medidas de potencia calculadas por presión e intensidad y que dependía del $\cos \theta$, es decir, de parámetros geométricos. Así, en este apartado se comprobará esta afirmación y se obtendrá este factor.

De esta forma, para verificar que la relación existente entre los resultados obtenidos de potencia acústica de una fuente para valores de intensidad y de presión acústica dependían de factores geométricos, se planteó la realización de un nuevo ensayo utilizando una fuente más sencilla y en condiciones más ideales, tal y como exige la aplicación de la normativa, con el objetivo de establecer un procedimiento que, mediante consideraciones geométricas, permitiera obtener un factor que acercase estos resultados.

8.7.1. Planteamiento del estudio.

En primer lugar, se seleccionó una fuente que cumpliera con una serie de características concretas como: conseguir una distribución sonora lo más homogénea posible, no demasiado grande, fácil de transportar, poseer una potencia acústica no demasiado pequeña, tener un régimen constante sin picos ni ciclos destacables funcionando en condiciones nominales y ser lo más omnidireccional posible. Así, la fuente elegida fue un aspirador industrial que normalmente utiliza el cuerpo de bomberos del CERN (*Figura 8.14*).



Figura 8.14: Vista del aspirador industrial

Una vez seleccionada la fuente, se aplicó la normativa para la obtención de la potencia acústica emitida a partir de medidas de intensidad acústica en puntos discretos, [39], para un escenario lo más cercano posible al ideal en el que se tenía el suelo, plano rígido de cemento, como única superficie reflectante y la no presencia de otras fuentes sonoras que pudiesen tener influencia en la medida.

Tras colocar la fuente en su lugar de ensayo, el primer paso para la aplicación de la norma fue la de definir su superficie de referencia. Aunque para la geometría y emisión de la fuente, la superficie más adecuada parecía ser la cilíndrica, ésta no estaba contemplada en la norma de presión, [35], siendo la siguiente más adecuada la superficie semiesférica, que sí estaba contemplada en ambas normas; no obstante, para nuestro caso de estudio, el muestreador atmosférico, se seleccionó una superficie paralelepípedica debido a su geometría rectangular, por lo que para mantener la concordancia entre ambos casos, para el aspirador industrial también se eligió como superficie de referencia un paralelepípedo de dimensiones $0,4 \cdot 0,4 \cdot 0,3 \text{ m}$ (Figura 8.15).

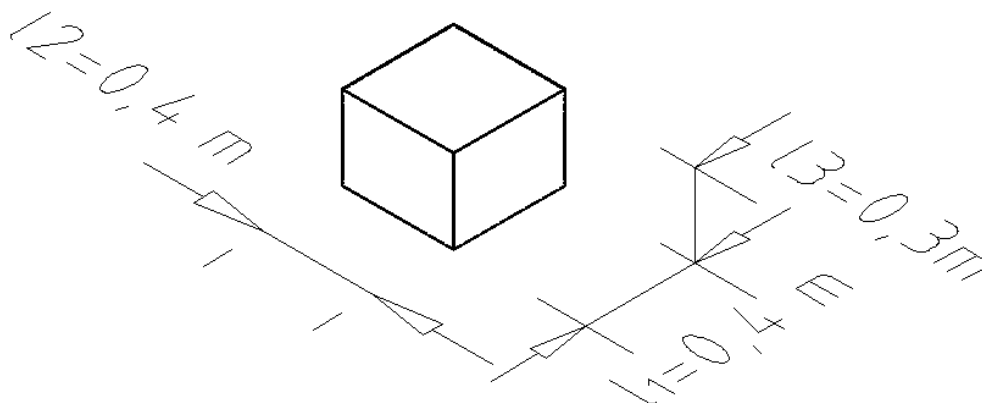


Figura 8.15: Dimensiones del paralelepípedo de referencia

De tal modo, considerando la distancia de medida d desde el paralelepípedo de referencia a la superficie de medida igual a $0,5 \text{ m}$, se obtienen las dimensiones de esta superficie: $1,4 \cdot 1,4 \cdot 0,8 \text{ m}$. Así, se declaran 20 puntos de medición en dicha superficie, asignando una superficie de $0,28 \text{ m}^2$ a los 16 puntos laterales y de $0,49 \text{ m}^2$ a los 4 superiores. Las Figuras 8.16 y 8.17 muestran las dimensiones de la superficie de medida y la distribución de los 20 puntos de medida respectivamente.

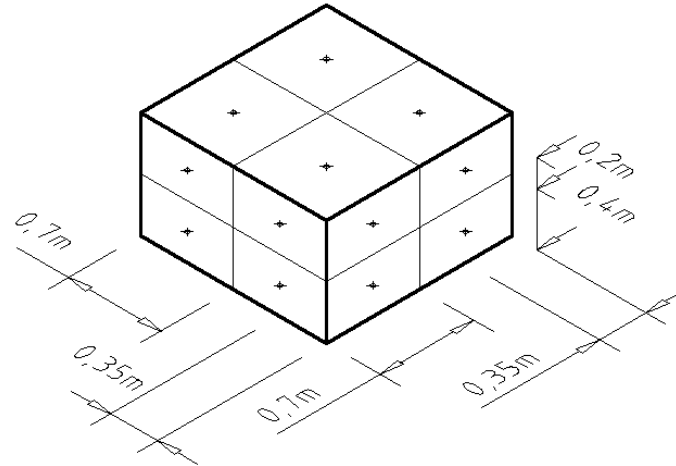


Figura 8.16: Dimensiones de la superficie de medida y sus divisiones

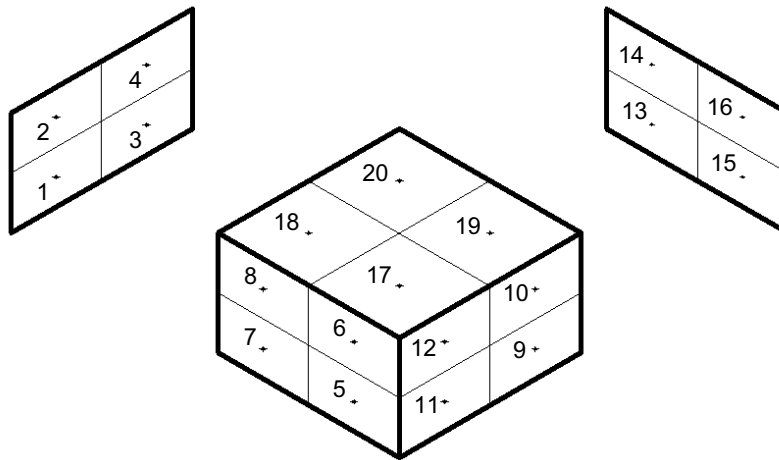


Figura 8.17: Distribución de los 20 puntos de medición en la superficie de medida

Tras definir la superficie de medida y los 20 puntos de medición sobre ella, se realizaron las medidas de intensidad para la obtención de los niveles de potencia acústica experimentales para las frecuencias de 125 a 10000 Hz. Los niveles obtenidos de intensidad en cada punto y frecuencia, L_i , se multiplicaron por la superficie asignada a cada punto, S_i . La suma de estos

productos proporcionó la potencia total emitida para cada frecuencia, según la ecuación (8.21) dada en la norma ISO 9614-1.

$$L_{WI} = 10 \cdot \log \left(\sum_i S_i \cdot 10^{L_i/10} \right) \quad (8.21)$$

La *Tabla 8.14* muestra los niveles de intensidad acústica obtenidos para cada punto, así como los valores globales para cada frecuencia, y la *Tabla 8.15* muestra las potencias obtenidas a partir de los niveles de intensidad, junto con el nivel global, suma de todas las frecuencias, que queda establecido en 92,8 dB.

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| H _z | L11 | L12 | L13 | L14 | L15 | L16 | L17 | L18 | L19 | L110 | L111 | L112 | L113 | L114 | L115 | L116 | L117 | L118 | L119 | L120 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| 125 | 49.7 | 47.3 | 49.9 | 47.3 | 50.1 | 48.7 | 49.6 | 41.3 | 49.8 | 47.0 | 47.7 | 46.8 | 50.8 | 47.3 | 50.2 | 47.2 | 48.9 | 47.5 | 47.7 | 47.0 |
| 160 | 60.4 | 57.3 | 58.0 | 55.4 | 61.1 | 58.2 | 61.7 | 57.9 | 55.8 | 53.0 | 59.7 | 56.4 | 55.4 | 53.4 | 54.7 | 51.9 | 59.1 | 58.5 | 54.6 | 54.9 |
| 200 | 80.3 | 77.4 | 76.7 | 74.7 | 81.0 | 77.9 | 81.9 | 78.1 | 73.3 | 70.4 | 79.6 | 76.2 | 71.9 | 71.4 | 70.3 | 68.2 | 78.9 | 78.5 | 72.9 | 73.9 |
| 250 | 64.6 | 61.5 | 63.7 | 60.7 | 64.9 | 61.6 | 65.3 | 61.9 | 62.8 | 60.0 | 64.5 | 61.2 | 62.7 | 60.2 | 62.8 | 60.0 | 63.7 | 63.1 | 62.0 | 62.0 |
| 315 | 66.0 | 62.6 | 66.2 | 62.8 | 65.6 | 63.2 | 65.3 | 62.5 | 65.4 | 63.2 | 66.0 | 62.5 | 65.9 | 63.5 | 65.7 | 62.8 | 65.8 | 64.9 | 65.7 | 64.7 |
| 400 | 69.4 | 66.0 | 72.9 | 68.7 | 69.4 | 67.1 | 70.7 | 66.8 | 73.8 | 68.8 | 72.4 | 67.8 | 71.8 | 70.1 | 74.0 | 69.7 | 71.7 | 70.0 | 72.2 | 72.7 |
| 500 | 71.9 | 67.6 | 71.9 | 67.9 | 72.0 | 68.1 | 71.7 | 68.2 | 71.2 | 68.3 | 71.5 | 67.8 | 72.0 | 68.8 | 71.9 | 68.4 | 72.3 | 71.3 | 72.2 | 70.9 |
| 630 | 72.2 | 68.7 | 74.0 | 70.4 | 74.9 | 70.1 | 72.9 | 68.1 | 71.8 | 68.5 | 73.6 | 70.0 | 75.0 | 71.5 | 73.4 | 69.6 | 73.0 | 70.6 | 72.4 | 73.4 |
| 800 | 71.8 | 67.5 | 71.6 | 67.7 | 71.2 | 67.3 | 71.6 | 66.5 | 71.2 | 67.9 | 71.3 | 67.4 | 71.8 | 67.5 | 72.3 | 67.2 | 71.0 | 69.0 | 71.4 | 69.3 |
| 1000 | 74.9 | 68.0 | 75.0 | 67.8 | 73.5 | 69.7 | 74.3 | 69.5 | 74.3 | 68.9 | 74.7 | 70.2 | 74.1 | 68.7 | 74.4 | 68.3 | 71.8 | 70.1 | 71.0 | 71.2 |
| 1250 | 84.0 | 76.7 | 84.0 | 75.8 | 81.5 | 73.8 | 83.6 | 77.6 | 84.0 | 76.9 | 84.1 | 75.8 | 83.8 | 76.4 | 84.2 | 77.6 | 78.2 | 77.8 | 77.9 | 81.1 |
| 1600 | 74.1 | 64.0 | 73.1 | 64.2 | 73.6 | 62.7 | 73.1 | 64.3 | 72.4 | 62.4 | 72.7 | 62.7 | 72.7 | 63.7 | 72.8 | 62.6 | 66.0 | 65.0 | 64.9 | 66.3 |
| 2000 | 74.8 | 64.4 | 72.9 | 64.8 | 74.5 | 65.5 | 73.9 | 66.0 | 73.1 | 65.2 | 72.8 | 63.9 | 72.8 | 65.8 | 72.7 | 64.2 | 66.6 | 67.2 | 66.4 | 67.5 |
| 2500 | 73.0 | 64.0 | 70.8 | 65.6 | 73.2 | 66.3 | 72.4 | 65.1 | 73.7 | 66.0 | 71.7 | 66.2 | 71.3 | 66.1 | 72.5 | 65.7 | 67.9 | 66.5 | 67.2 | 67.3 |
| 3150 | 68.6 | 65.8 | 69.7 | 64.8 | 69.2 | 65.4 | 69.7 | 65.2 | 69.4 | 65.9 | 68.1 | 64.7 | 70.4 | 65.6 | 70.5 | 65.7 | 66.3 | 63.5 | 65.1 | 67.2 |
| 4000 | 66.2 | 62.2 | 68.2 | 61.1 | 66.5 | 62.0 | 69.4 | 62.6 | 68.7 | 61.7 | 68.4 | 60.8 | 69.5 | 62.4 | 69.9 | 62.2 | 64.1 | 62.5 | 63.2 | 62.8 |
| 5000 | 67.3 | 61.1 | 66.8 | 61.4 | 68.4 | 63.0 | 67.7 | 62.6 | 66.2 | 61.1 | 67.3 | 62.0 | 67.5 | 61.7 | 68.2 | 62.5 | 63.9 | 63.4 | 63.2 | 62.6 |
| 6300 | 65.9 | 62.2 | 65.2 | 63.0 | 65.5 | 63.8 | 66.6 | 64.3 | 65.5 | 63.9 | 64.2 | 63.2 | 66.1 | 63.0 | 66.6 | 63.6 | 63.5 | 62.9 | 61.1 | 61.9 |
| 8000 | 64.8 | 61.2 | 65.6 | 60.6 | 65.0 | 61.3 | 66.1 | 61.3 | 65.1 | 60.4 | 64.1 | 60.4 | 66.3 | 59.9 | 66.0 | 61.1 | 60.0 | 58.7 | 58.0 | 58.3 |
| 10000 | 62.9 | 56.2 | 61.4 | 55.6 | 62.5 | 56.0 | 61.7 | 55.9 | 60.7 | 54.6 | 59.3 | 55.9 | 61.6 | 55.8 | 61.4 | 55.3 | 57.1 | 56.0 | 55.0 | 55.7 |
| L | 87.4 | 81.8 | 86.9 | 81.0 | 86.7 | 81.7 | 87.6 | 82.5 | 86.6 | 80.7 | 87.3 | 81.4 | 86.6 | 81.0 | 86.8 | 80.9 | 84.1 | 83.3 | 82.7 | 84.1 |

Tabla 8.14: Niveles de intensidad acústica en los 20 puntos de medida

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| Hz | LW1 | LW2 | LW3 | LW4 | LW5 | LW6 | LW7 | LW8 | LW9 | LW10 | LW11 | LW12 | LW13 | LW14 | LW15 | LW16 | LW17 | LW18 | LW19 | LW20 | LWT |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|
| | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | |
| 125 | 44.2 | 41.8 | 44.4 | 41.8 | 44.6 | 43.2 | 44.1 | 35.8 | 44.3 | 41.5 | 42.2 | 41.3 | 45.3 | 41.7 | 44.7 | 41.7 | 45.8 | 44.4 | 44.6 | 43.9 | 56.5 |
| 160 | 54.8 | 51.7 | 52.4 | 49.9 | 55.6 | 52.7 | 56.1 | 52.4 | 50.3 | 47.4 | 54.1 | 50.8 | 49.9 | 47.9 | 49.2 | 46.4 | 56.0 | 55.4 | 51.5 | 51.8 | 65.7 |
| 200 | 74.7 | 71.9 | 71.2 | 69.2 | 75.5 | 72.3 | 76.4 | 72.6 | 67.8 | 64.9 | 74.1 | 70.7 | 66.4 | 65.9 | 64.8 | 62.6 | 75.8 | 75.4 | 69.8 | 70.8 | 85.3 |
| 250 | 59.1 | 56.0 | 58.2 | 55.2 | 59.4 | 56.1 | 59.7 | 56.3 | 57.3 | 54.5 | 59.0 | 55.7 | 57.2 | 54.7 | 57.3 | 54.4 | 60.6 | 60.0 | 58.9 | 58.9 | 70.8 |
| 315 | 60.4 | 57.1 | 60.6 | 57.3 | 60.0 | 57.7 | 59.8 | 57.0 | 59.8 | 57.7 | 60.4 | 56.9 | 60.4 | 58.0 | 60.2 | 57.2 | 62.7 | 61.8 | 62.6 | 61.6 | 72.9 |
| 400 | 63.9 | 60.5 | 67.4 | 63.2 | 63.8 | 61.5 | 65.1 | 61.2 | 68.3 | 63.3 | 66.9 | 62.3 | 66.2 | 64.6 | 68.5 | 64.1 | 68.6 | 66.9 | 69.1 | 69.6 | 79.1 |
| 500 | 66.4 | 62.1 | 66.4 | 62.4 | 66.5 | 62.6 | 66.2 | 62.6 | 65.7 | 62.8 | 66.0 | 62.3 | 66.5 | 63.3 | 66.3 | 62.8 | 69.2 | 68.2 | 69.1 | 67.8 | 78.9 |
| 630 | 66.6 | 63.2 | 68.4 | 64.9 | 69.4 | 64.6 | 67.4 | 62.6 | 66.3 | 63.0 | 68.1 | 64.5 | 69.5 | 65.9 | 67.9 | 64.0 | 69.9 | 67.5 | 69.3 | 70.3 | 80.3 |
| 800 | 66.3 | 61.9 | 66.1 | 62.2 | 65.7 | 61.8 | 66.0 | 60.9 | 65.7 | 62.3 | 65.8 | 61.9 | 66.3 | 62.0 | 66.8 | 61.7 | 67.9 | 65.9 | 68.3 | 66.2 | 78.2 |
| 1000 | 69.4 | 62.5 | 69.4 | 62.2 | 68.0 | 64.2 | 68.7 | 64.0 | 68.7 | 63.3 | 69.2 | 64.7 | 68.6 | 63.2 | 68.9 | 62.7 | 68.7 | 67.0 | 67.9 | 68.1 | 80.2 |
| 1250 | 78.5 | 71.2 | 78.4 | 70.3 | 75.9 | 68.3 | 78.1 | 72.1 | 78.5 | 71.4 | 78.6 | 70.3 | 78.3 | 70.9 | 78.7 | 72.0 | 75.1 | 74.7 | 74.8 | 78.0 | 88.9 |
| 1600 | 68.6 | 58.5 | 67.6 | 58.7 | 68.1 | 57.1 | 67.6 | 58.8 | 66.9 | 56.9 | 67.1 | 57.2 | 67.1 | 58.2 | 67.3 | 57.0 | 62.9 | 61.9 | 61.8 | 63.2 | 77.6 |
| 2000 | 69.2 | 58.8 | 67.4 | 59.3 | 69.0 | 60.0 | 68.4 | 60.4 | 67.5 | 59.7 | 67.3 | 58.4 | 67.3 | 60.3 | 67.2 | 58.7 | 63.5 | 64.1 | 63.3 | 64.4 | 78.3 |
| 2500 | 67.4 | 58.4 | 65.3 | 60.0 | 67.7 | 60.8 | 66.9 | 59.6 | 68.1 | 60.5 | 66.2 | 60.7 | 65.8 | 60.6 | 67.0 | 60.2 | 64.8 | 63.4 | 64.1 | 64.2 | 77.6 |
| 3150 | 63.0 | 60.3 | 64.2 | 59.2 | 63.7 | 59.9 | 64.2 | 59.7 | 63.8 | 60.4 | 62.6 | 59.2 | 64.9 | 60.0 | 65.0 | 60.2 | 63.2 | 60.4 | 62.0 | 64.1 | 75.5 |
| 4000 | 60.6 | 56.7 | 62.7 | 55.5 | 61.0 | 56.5 | 63.8 | 57.0 | 63.2 | 56.2 | 62.9 | 55.2 | 64.0 | 56.9 | 64.4 | 56.7 | 61.0 | 59.4 | 60.1 | 59.7 | 73.7 |
| 5000 | 61.8 | 55.5 | 61.2 | 55.8 | 62.9 | 57.4 | 62.2 | 57.1 | 60.7 | 55.6 | 61.7 | 56.5 | 62.0 | 56.2 | 62.7 | 57.0 | 60.8 | 60.3 | 60.1 | 59.5 | 73.1 |
| 6300 | 60.4 | 56.6 | 59.6 | 57.5 | 60.0 | 58.3 | 61.0 | 58.8 | 60.0 | 58.4 | 58.7 | 57.6 | 60.6 | 57.5 | 61.1 | 58.1 | 60.4 | 59.8 | 58.0 | 58.8 | 72.3 |
| 8000 | 59.3 | 55.7 | 60.0 | 55.1 | 59.5 | 55.7 | 60.6 | 55.7 | 59.5 | 54.9 | 58.6 | 54.8 | 60.7 | 54.4 | 60.5 | 55.6 | 56.9 | 55.6 | 54.9 | 55.2 | 70.8 |
| 10000 | 57.4 | 50.6 | 55.9 | 50.1 | 57.0 | 50.5 | 56.2 | 50.4 | 55.2 | 49.0 | 53.8 | 50.4 | 56.0 | 50.2 | 55.9 | 49.7 | 54.0 | 52.9 | 51.9 | 52.6 | 66.8 |
| L | 81.9 | 76.3 | 81.4 | 75.5 | 81.2 | 76.2 | 82.1 | 77.0 | 81.1 | 75.2 | 81.7 | 75.9 | 81.0 | 75.5 | 81.3 | 75.4 | 81.0 | 80.2 | 79.6 | 81.0 | 92.8 |

Tabla 8.15: Áreas de los elementos de superficie asociados a los 20 puntos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de intensidad y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

Como ya se comentó en anteriores apartados, la norma ISO 3744 indica que el cálculo de la potencia se realiza a partir del nivel de presión acústica superficial ponderado y la superficie total de medida, siguiendo la ecuación:

$$L_W = \overline{L_{ps}} + 10 \cdot \log \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (8.22)$$

No obstante, ya que posteriormente esta potencia se corregirá con el $\cos \theta$, su cálculo se realizará ponderando cada medida de presión por la superficie asignada a ese punto, es decir, siguiendo la misma ecuación (8.21) que en intensidad, con el fin de compararla de una forma más correcta con los resultados obtenidos por intensidad.

La *Tabla 8.16* muestra los niveles de presión acústica obtenidos para cada punto utilizando la sonda de intensidad, así como los valores globales para cada frecuencia, y la *Tabla 8.17* muestra las potencias obtenidas a partir de los niveles de presión, viéndose que el nivel global, suma de todas las frecuencias, queda establecido en 93,9 *dB*.

| Hz | Lp1 (dB) | Lp2 (dB) | Lp3 (dB) | Lp4 (dB) | Lp5 (dB) | Lp6 (dB) | Lp7 (dB) | Lp8 (dB) | Lp9 (dB) | Lp10 (dB) | Lp11 (dB) | Lp12 (dB) | Lp13 (dB) | Lp14 (dB) | Lp15 (dB) | Lp16 (dB) | Lp17 (dB) | Lp18 (dB) | Lp19 (dB) | Lp20 (dB) |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 125 | 53.1 | 51.0 | 51.8 | 50.2 | 53.3 | 53.3 | 52.8 | 51.6 | 51.8 | 50.8 | 53.4 | 51.1 | 52.6 | 49.6 | 52.1 | 49.5 | 54.2 | 51.5 | 50.1 | 49.8 |
| 160 | 61.3 | 59.1 | 59.1 | 57.5 | 61.9 | 60.1 | 63.1 | 60.4 | 56.6 | 54.6 | 61.2 | 59.2 | 56.2 | 55.2 | 55.6 | 53.8 | 60.0 | 59.7 | 55.2 | 57.1 |
| 200 | 80.8 | 79.0 | 77.8 | 76.7 | 81.7 | 79.4 | 83.3 | 80.3 | 73.6 | 71.4 | 81.1 | 79.0 | 72.4 | 72.9 | 70.4 | 69.4 | 79.3 | 79.7 | 73.2 | 76.4 |
| 250 | 65.7 | 63.6 | 64.7 | 63.1 | 66.1 | 63.5 | 66.6 | 64.3 | 64.2 | 62.1 | 65.7 | 63.9 | 64.0 | 62.3 | 63.7 | 62.2 | 64.7 | 64.1 | 63.0 | 63.5 |
| 315 | 67.2 | 65.7 | 66.9 | 65.0 | 66.6 | 66.0 | 66.1 | 65.0 | 66.4 | 66.0 | 66.9 | 64.8 | 66.9 | 66.2 | 66.6 | 64.8 | 66.7 | 65.5 | 66.5 | 65.8 |
| 400 | 70.5 | 68.5 | 74.2 | 71.5 | 70.5 | 69.4 | 72.0 | 69.6 | 75.1 | 71.1 | 73.6 | 71.1 | 72.9 | 72.4 | 75.3 | 72.6 | 72.1 | 70.5 | 72.8 | 73.8 |
| 500 | 73.2 | 70.4 | 72.9 | 70.5 | 73.3 | 70.6 | 72.6 | 71.1 | 72.4 | 70.9 | 72.7 | 70.5 | 73.1 | 71.5 | 72.8 | 70.7 | 72.9 | 72.0 | 72.9 | 71.9 |
| 630 | 73.3 | 71.4 | 74.7 | 73.2 | 75.9 | 72.4 | 74.1 | 71.1 | 72.9 | 70.7 | 74.4 | 72.4 | 76.2 | 73.7 | 74.4 | 72.1 | 73.6 | 71.3 | 73.0 | 74.5 |
| 800 | 72.9 | 70.2 | 72.6 | 70.0 | 72.3 | 69.5 | 72.7 | 69.6 | 72.4 | 70.4 | 72.4 | 70.1 | 72.8 | 69.8 | 73.3 | 69.8 | 71.6 | 69.8 | 72.1 | 70.4 |
| 1000 | 75.9 | 70.7 | 75.8 | 70.3 | 74.6 | 72.0 | 75.3 | 72.2 | 75.3 | 71.4 | 75.6 | 72.5 | 75.2 | 70.8 | 75.2 | 70.9 | 72.3 | 70.9 | 71.8 | 72.4 |
| 1250 | 84.9 | 79.4 | 84.6 | 78.9 | 82.3 | 75.9 | 84.5 | 81.3 | 85.1 | 79.4 | 84.8 | 78.8 | 85.0 | 78.1 | 84.8 | 80.6 | 78.1 | 78.2 | 78.3 | 81.9 |
| 1600 | 75.0 | 67.0 | 73.7 | 66.5 | 74.5 | 66.0 | 73.8 | 66.7 | 73.5 | 65.6 | 73.3 | 65.0 | 73.7 | 66.4 | 73.4 | 64.7 | 66.5 | 65.7 | 65.8 | 67.4 |
| 2000 | 75.4 | 67.0 | 73.4 | 67.1 | 75.1 | 67.9 | 74.7 | 68.3 | 73.7 | 67.6 | 73.4 | 66.2 | 73.5 | 68.0 | 73.4 | 66.3 | 66.6 | 67.7 | 66.8 | 68.2 |
| 2500 | 73.5 | 66.2 | 71.8 | 67.7 | 73.7 | 68.3 | 73.4 | 67.4 | 74.1 | 68.0 | 72.5 | 68.6 | 72.1 | 68.1 | 73.5 | 67.9 | 68.2 | 67.2 | 67.7 | 68.3 |
| 3150 | 70.0 | 68.4 | 70.9 | 67.5 | 70.6 | 67.6 | 71.1 | 68.0 | 70.8 | 68.2 | 69.5 | 67.4 | 71.9 | 68.1 | 71.8 | 68.3 | 67.0 | 64.2 | 66.0 | 68.3 |
| 4000 | 67.5 | 65.8 | 69.0 | 64.1 | 67.5 | 65.4 | 70.2 | 65.7 | 69.9 | 65.0 | 69.1 | 63.8 | 70.8 | 65.7 | 70.7 | 65.0 | 64.0 | 62.8 | 63.6 | 63.7 |
| 5000 | 67.8 | 63.8 | 67.7 | 63.4 | 69.0 | 65.0 | 68.8 | 64.8 | 66.8 | 63.1 | 68.2 | 64.1 | 68.0 | 63.8 | 69.2 | 64.5 | 64.5 | 64.2 | 63.8 | 63.7 |
| 6300 | 67.6 | 65.7 | 65.8 | 66.5 | 67.2 | 67.2 | 67.2 | 67.8 | 67.0 | 67.4 | 64.7 | 66.5 | 67.8 | 66.6 | 67.2 | 66.7 | 63.3 | 63.1 | 61.7 | 62.8 |
| 8000 | 65.5 | 64.7 | 66.2 | 62.8 | 65.4 | 64.6 | 66.8 | 63.7 | 65.7 | 63.5 | 64.7 | 62.5 | 66.8 | 63.2 | 66.5 | 63.0 | 59.6 | 58.6 | 58.1 | 58.8 |
| 10000 | 62.9 | 58.9 | 61.0 | 57.7 | 62.4 | 58.7 | 61.5 | 58.3 | 61.2 | 57.2 | 59.1 | 58.1 | 62.0 | 58.5 | 60.9 | 57.1 | 55.5 | 55.1 | 54.1 | 55.6 |
| L | 88.3 | 84.2 | 87.7 | 83.6 | 87.5 | 83.7 | 88.7 | 85.4 | 87.6 | 83.1 | 88.1 | 84.2 | 87.7 | 83.1 | 87.5 | 83.6 | 84.4 | 84.1 | 83.3 | 85.2 |

Tabla 8.16: Niveles de presión acústica en los 20 puntos de medida

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| Hz | LW1 | LW2 | LW3 | LW4 | LW5 | LW6 | LW7 | LW8 | LW9 | LW10 | LW11 | LW12 | LW13 | LW14 | LW15 | LW16 | LW17 | LW18 | LW19 | LW20 | LWT |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.49 | 0.49 | 0.49 | 0.49 | 6.44 |
| | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) |
| 125 | 47.5 | 45.5 | 46.3 | 44.7 | 47.7 | 47.7 | 47.2 | 46.1 | 46.3 | 45.3 | 47.9 | 45.6 | 47.0 | 44.0 | 46.5 | 44.0 | 51.1 | 48.4 | 47.0 | 46.7 | 60.0 |
| 160 | 55.8 | 53.6 | 53.6 | 51.9 | 56.4 | 54.6 | 57.6 | 54.8 | 51.0 | 49.0 | 55.6 | 53.7 | 50.7 | 49.7 | 50.1 | 48.3 | 56.9 | 56.6 | 52.1 | 54.0 | 67.1 |
| 200 | 75.2 | 73.5 | 72.3 | 71.2 | 76.1 | 73.9 | 77.7 | 74.7 | 68.0 | 65.8 | 75.5 | 73.5 | 66.9 | 67.4 | 64.9 | 63.8 | 76.2 | 76.6 | 70.1 | 73.3 | 86.5 |
| 250 | 60.1 | 58.1 | 59.2 | 57.6 | 60.5 | 57.9 | 61.1 | 58.8 | 58.7 | 56.6 | 60.1 | 58.3 | 58.5 | 56.8 | 58.1 | 56.7 | 61.6 | 61.0 | 59.9 | 60.4 | 72.3 |
| 315 | 61.7 | 60.2 | 61.4 | 59.5 | 61.1 | 60.5 | 60.5 | 59.4 | 60.8 | 60.4 | 61.3 | 59.2 | 61.3 | 60.7 | 61.1 | 59.3 | 63.6 | 62.4 | 63.4 | 62.7 | 74.2 |
| 400 | 65.0 | 63.0 | 68.6 | 66.0 | 64.9 | 63.8 | 66.5 | 64.0 | 69.6 | 65.6 | 68.1 | 65.6 | 67.4 | 66.8 | 69.8 | 67.1 | 69.0 | 67.4 | 69.7 | 70.7 | 80.5 |
| 500 | 67.7 | 64.9 | 67.4 | 65.0 | 67.8 | 65.1 | 67.1 | 65.5 | 66.9 | 65.4 | 67.1 | 64.9 | 67.5 | 65.9 | 67.3 | 65.2 | 69.8 | 68.9 | 69.8 | 68.8 | 80.2 |
| 630 | 67.7 | 65.8 | 69.2 | 67.7 | 70.3 | 66.9 | 68.5 | 65.6 | 67.4 | 65.1 | 68.9 | 66.9 | 70.7 | 68.2 | 68.8 | 66.5 | 70.5 | 68.2 | 69.9 | 71.4 | 81.6 |
| 800 | 67.4 | 64.7 | 67.1 | 64.5 | 66.8 | 64.0 | 67.2 | 64.0 | 66.9 | 64.9 | 66.9 | 64.6 | 67.3 | 64.3 | 67.8 | 64.2 | 68.5 | 66.7 | 69.0 | 67.3 | 79.5 |
| 1000 | 70.4 | 65.2 | 70.3 | 64.8 | 69.1 | 66.5 | 69.7 | 66.7 | 69.8 | 65.9 | 70.1 | 67.0 | 69.7 | 65.3 | 69.7 | 65.4 | 69.2 | 67.8 | 68.7 | 69.3 | 81.4 |
| 1250 | 79.4 | 73.9 | 79.1 | 73.4 | 76.8 | 70.4 | 79.0 | 75.7 | 79.5 | 73.9 | 79.2 | 73.2 | 79.5 | 72.6 | 79.3 | 75.1 | 75.0 | 75.1 | 75.2 | 78.8 | 90.0 |
| 1600 | 69.5 | 61.5 | 68.2 | 61.0 | 69.0 | 60.4 | 68.3 | 61.2 | 67.9 | 60.1 | 67.8 | 59.4 | 68.1 | 60.8 | 67.9 | 59.1 | 63.4 | 62.6 | 62.7 | 64.3 | 78.6 |
| 2000 | 69.9 | 61.5 | 67.9 | 61.6 | 69.6 | 62.4 | 69.2 | 62.7 | 68.1 | 62.1 | 67.8 | 60.7 | 68.0 | 62.5 | 67.8 | 60.8 | 63.5 | 64.6 | 63.7 | 65.1 | 79.1 |
| 2500 | 67.9 | 60.7 | 66.3 | 62.2 | 68.2 | 62.7 | 67.9 | 61.9 | 68.6 | 62.4 | 67.0 | 63.1 | 66.5 | 62.5 | 68.0 | 62.4 | 65.1 | 64.1 | 64.6 | 65.2 | 78.6 |
| 3150 | 64.4 | 62.8 | 65.4 | 61.9 | 65.1 | 62.1 | 65.6 | 62.5 | 65.3 | 62.7 | 63.9 | 61.9 | 66.4 | 62.5 | 66.2 | 62.8 | 63.9 | 61.1 | 62.9 | 65.2 | 77.0 |
| 4000 | 62.0 | 60.3 | 63.4 | 58.6 | 62.0 | 59.8 | 64.6 | 60.2 | 64.3 | 59.4 | 63.6 | 58.2 | 65.3 | 60.2 | 65.2 | 59.5 | 60.9 | 59.7 | 60.5 | 60.6 | 75.0 |
| 5000 | 62.3 | 58.2 | 62.2 | 57.8 | 63.4 | 59.5 | 63.2 | 59.2 | 61.2 | 57.6 | 62.7 | 58.6 | 62.5 | 58.3 | 63.7 | 58.9 | 61.4 | 61.1 | 60.7 | 60.6 | 74.1 |
| 6300 | 62.1 | 60.2 | 60.2 | 60.9 | 61.6 | 61.7 | 61.7 | 62.3 | 61.4 | 61.9 | 59.2 | 61.0 | 62.3 | 61.1 | 61.6 | 61.2 | 60.2 | 60.0 | 58.6 | 59.7 | 74.1 |
| 8000 | 60.0 | 59.2 | 60.6 | 57.3 | 59.9 | 59.1 | 61.3 | 58.2 | 60.2 | 58.0 | 59.2 | 57.0 | 61.3 | 57.7 | 61.0 | 57.5 | 56.5 | 55.5 | 55.0 | 55.7 | 71.9 |
| 10000 | 57.4 | 53.4 | 55.4 | 52.2 | 56.9 | 53.1 | 56.0 | 52.8 | 55.6 | 51.7 | 53.5 | 52.6 | 56.5 | 52.9 | 55.4 | 51.5 | 52.4 | 52.0 | 51.0 | 52.5 | 67.2 |
| L | 82.8 | 78.7 | 82.2 | 78.1 | 82.0 | 78.2 | 83.1 | 79.9 | 82.1 | 77.6 | 82.6 | 78.7 | 82.1 | 77.6 | 82.0 | 78.1 | 81.3 | 81.0 | 80.2 | 82.1 | 93.9 |

Tabla 8.17: Áreas de los elementos de superficie asociados a los 20 puntos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de presión y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz

Una vez obtenidos los niveles de potencia acústica por intensidad y presión, se representan sus resultados conjuntamente (*Figura 8.18*), de manera que se puede apreciar como los niveles de potencia obtenidos mediante presión quedan, para todas las frecuencias, por encima de los niveles obtenidos mediante intensidad.

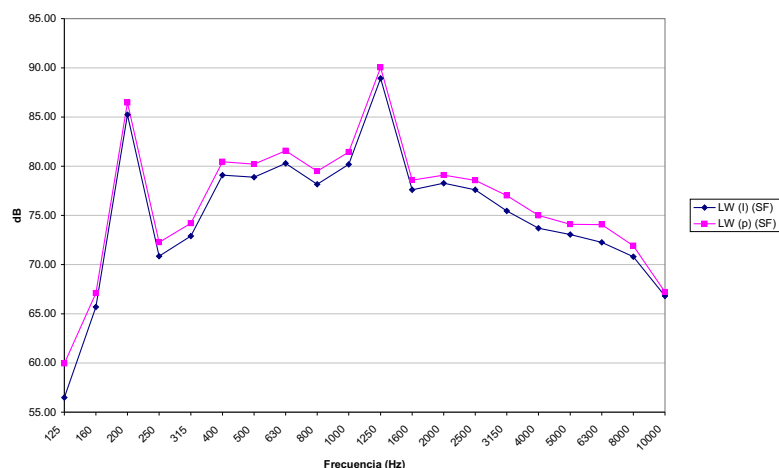


Figura 8.18: Niveles de Potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad en los puntos de medida

Por otro lado, la *Figura 8.19* muestra los niveles de potencia acústica en los 20 puntos y el valor global calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad, viéndose también en esta representación como los niveles obtenidos por presión son mayores que los obtenidos por intensidad.

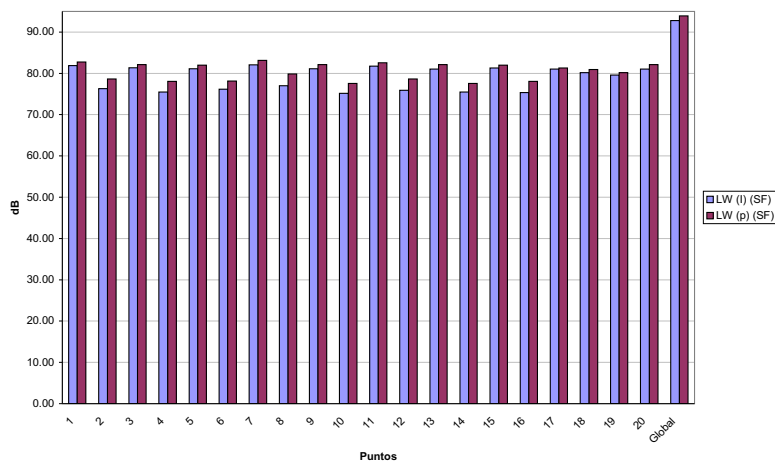


Figura 8.19: Niveles de Potencia acústica en los 20 puntos y valor global calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión

Como ya se introdujo al inicio de este apartado, el factor fundamental que influye en esta diferencia de valores, radica en la naturaleza misma de las medidas de presión y de intensidad. Así, mientras que la medida de intensidad proporciona el flujo de potencia que sale de la superficie perpendicularmente a ella, la de presión da el flujo total; por tanto, al multiplicar estos valores por la superficie de medida, la potencia obtenida mediante la presión se ve sobrevalorada.

La diferencia de valores entre uno y otro método, estará por tanto ligada al coseno del ángulo que forma en cada punto, el vector intensidad con la perpendicular a la superficie de medida en ese punto. Para obtener este ángulo, es necesario conocer el vector completamente y, por tanto, medir en 3 direcciones independientes del espacio. Sin embargo, para la obtención de la potencia mediante intensidad, sólo se midió en la componente perpendicular a la superficie de medida, con lo que se debe estimar el coseno del ángulo de otra forma. Así, para aproximar el resultado de la potencia mediante presión a la obtenida por intensidad, se utiliza el método geométrico de las imágenes.

Antes de comenzar con esta estimación, se debe comprobar que los niveles de potencia acústica obtenidos cumplen con las incertidumbres marcadas por la norma, y como ya se vio para el caso de la fuente bajo estudio, hay una serie de indicadores que garantizan su cumplimiento.

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

Así, el primer cálculo a realizar es el del indicador de variabilidad temporal. Para ello, de los 20 puntos de medida, se eligió el número 2, en el que se realizaron 10 mediciones de tiempo corto, 15 s (*Tabla 8.18*).

| Medidas de Intensidad en la Posición 2 (M = 10) | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Frecuencia (Hz) | I_{n1} (W/m ²) | I_{n2} (W/m ²) | I_{n3} (W/m ²) | I_{n4} (W/m ²) | I_{n5} (W/m ²) | I_{n6} (W/m ²) | I_{n7} (W/m ²) | I_{n8} (W/m ²) | I_{n9} (W/m ²) | I_{n10} (W/m ²) |
| 125 | 6.17E-08 | 4.45E-08 | 5.10E-08 | 6.55E-08 | 8.17E-08 | 6.26E-08 | 5.77E-08 | 6.89E-08 | 6.30E-08 | 6.31E-08 |
| 160 | 3.23E-07 | 3.15E-07 | 5.11E-07 | 3.64E-07 | 4.68E-07 | 3.35E-07 | 1.44E-07 | 5.14E-07 | 4.33E-07 | 4.17E-07 |
| 200 | 2.31E-05 | 3.66E-05 | 4.44E-05 | 2.45E-05 | 3.09E-05 | 2.41E-05 | 6.14E-06 | 4.46E-05 | 3.87E-05 | 3.76E-05 |
| 250 | 1.25E-06 | 9.79E-07 | 1.45E-06 | 1.35E-06 | 1.60E-06 | 1.33E-06 | 1.05E-06 | 1.54E-06 | 1.35E-06 | 1.35E-06 |
| 315 | 2.28E-06 | 2.02E-06 | 1.72E-06 | 2.13E-06 | 2.47E-06 | 2.34E-06 | 2.50E-06 | 2.29E-06 | 2.24E-06 | 2.41E-06 |
| 400 | 6.80E-06 | 9.66E-06 | 4.30E-06 | 6.24E-06 | 7.41E-06 | 8.31E-06 | 1.28E-05 | 7.98E-06 | 5.39E-06 | 9.25E-06 |
| 500 | 6.97E-06 | 5.70E-06 | 6.59E-06 | 6.81E-06 | 8.57E-06 | 7.43E-06 | 8.46E-06 | 7.64E-06 | 6.28E-06 | 7.56E-06 |
| 630 | 8.46E-06 | 2.36E-05 | 5.79E-06 | 1.09E-05 | 9.65E-06 | 1.23E-05 | 1.15E-05 | 1.55E-05 | 1.07E-05 | 1.65E-05 |
| 800 | 6.75E-06 | 7.11E-06 | 3.80E-06 | 6.38E-06 | 5.87E-06 | 7.17E-06 | 7.10E-06 | 6.53E-06 | 8.06E-06 | 6.94E-06 |
| 1000 | 5.78E-06 | 7.11E-06 | 1.16E-05 | 9.85E-06 | 9.06E-06 | 8.84E-06 | 7.88E-06 | 1.10E-05 | 7.95E-06 | 7.66E-06 |
| 1250 | 5.34E-05 | 1.78E-05 | 5.35E-05 | 3.65E-05 | 5.67E-05 | 4.53E-05 | 6.64E-05 | 3.55E-05 | 3.39E-05 | 3.88E-05 |
| 1600 | 2.76E-06 | 2.20E-06 | 1.87E-06 | 1.64E-06 | 2.70E-06 | 2.29E-06 | 2.14E-06 | 2.31E-06 | 1.92E-06 | 3.07E-06 |
| 2000 | 3.72E-06 | 2.45E-06 | 3.68E-06 | 2.53E-06 | 4.78E-06 | 3.21E-06 | 3.53E-06 | 3.24E-06 | 2.38E-06 | 3.79E-06 |
| 2500 | 3.27E-06 | 4.60E-06 | 3.39E-06 | 4.21E-06 | 4.32E-06 | 4.39E-06 | 4.77E-06 | 5.01E-06 | 3.68E-06 | 4.40E-06 |
| 3150 | 4.33E-06 | 2.33E-06 | 3.53E-06 | 4.19E-06 | 4.72E-06 | 4.17E-06 | 4.57E-06 | 3.74E-06 | 4.35E-06 | 3.57E-06 |
| 4000 | 1.81E-06 | 8.09E-07 | 1.98E-06 | 1.65E-06 | 2.48E-06 | 1.66E-06 | 1.85E-06 | 1.64E-06 | 1.41E-06 | 1.59E-06 |
| 5000 | 1.33E-06 | 9.12E-07 | 2.09E-06 | 1.91E-06 | 2.47E-06 | 1.62E-06 | 1.67E-06 | 2.12E-06 | 1.29E-06 | 1.56E-06 |
| 6300 | 2.20E-06 | 1.23E-06 | 2.71E-06 | 2.07E-06 | 3.28E-06 | 2.22E-06 | 2.59E-06 | 2.33E-06 | 1.68E-06 | 2.05E-06 |
| 8000 | 1.37E-06 | 6.46E-07 | 1.26E-06 | 1.39E-06 | 1.78E-06 | 1.31E-06 | 1.27E-06 | 1.36E-06 | 1.34E-06 | 1.17E-06 |
| 10000 | 3.72E-07 | 3.69E-07 | 3.75E-07 | 4.30E-07 | 4.53E-07 | 4.27E-07 | 3.60E-07 | 5.04E-07 | 4.24E-07 | 4.56E-07 |
| L | 1.36E-04 | 1.26E-04 | 1.55E-04 | 1.25E-04 | 1.60E-04 | 1.39E-04 | 1.47E-04 | 1.55E-04 | 1.34E-04 | 1.50E-04 |

Tabla 8.18: Medidas de intensidad acústica en la posición 2 de micrófono sobre la superficie de medida del aspirador para la obtención del Indicador F_1

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

Con las medidas realizadas, se calcula el indicador F_1 para las frecuencias de 125 a 10000 Hz, verificándose que los valores obtenidos son inferiores al límite de 0,6 (Tabla 8.19).

| Hz | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| F_1 | 0.16 | 0.29 | 0.38 | 0.15 | 0.10 | 0.31 | 0.13 | 0.40 | 0.17 | 0.21 |

| Hz | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| F_1 | 0.32 | 0.19 | 0.22 | 0.14 | 0.18 | 0.25 | 0.27 | 0.25 | 0.22 | 0.11 |

Tabla 8.19: Indicadores de variabilidad temporal del campo acústico para las frecuencias de 125 a 10000 Hz

Elegido el Grado 1 de precisión, el factor de error de desviación, K , queda establecido en 10; que restado de la Intensidad Residual obtenida en el calibrador, proporciona el índice de capacidad dinámica, L_d . Por otro lado, con los niveles medios calculados, se obtuvo el indicador de presión-intensidad en la superficie, F_2 , cuyo resultado puede verse en la Figura 8.20, y donde se observa que queda claramente por debajo del índice de capacidad dinámica.

Puesto que todas las medidas de intensidad son positivas, el indicador de potencia parcial negativa, F_3 , tiene el mismo valor que F_2 , con lo que la diferencia entre ambos es nula, Figura 8.20, cumpliendo el criterio de ser menor de 3 dB.

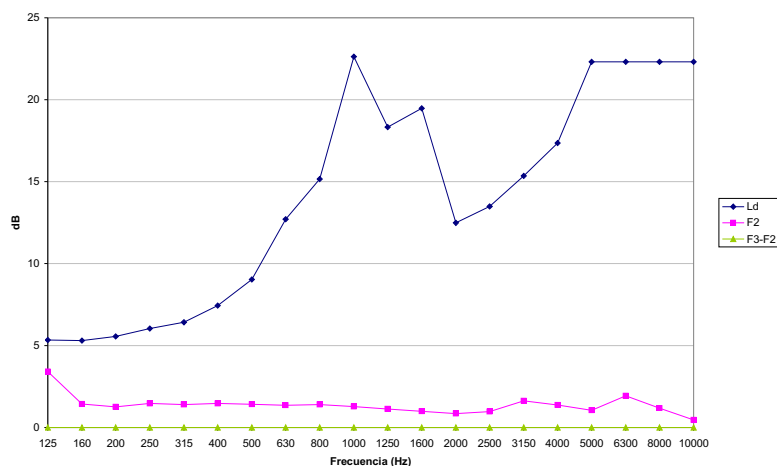


Figura 8.20: Índice de capacidad dinámica, L_d , indicador de presión-intensidad en la superficie, F_2 , y diferencia entre F_3 y F_2 (indicador de potencia parcial negativa) para las 20 medidas

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

Los valores numéricos de los índices de capacidad dinámica y de los factores F_2 y F_3 se muestran en la *Tabla 8.20*.

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| Hz | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 |
| L_d | 5.33 | 5.31 | 5.55 | 6.04 | 6.42 | 7.43 | 9.03 | 12.71 | 15.16 | 22.62 |
| F_2 | 3.41 | 1.43 | 1.25 | 1.46 | 1.40 | 1.47 | 1.42 | 1.35 | 1.40 | 1.27 |
| F_3 | 3.41 | 1.43 | 1.25 | 1.46 | 1.40 | 1.47 | 1.42 | 1.35 | 1.40 | 1.27 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Hz | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 |
| L_d | 18.33 | 19.47 | 12.49 | 13.48 | 15.35 | 17.36 | 22.31 | 22.31 | 22.31 | 22.31 |
| F_2 | 1.13 | 0.99 | 0.85 | 0.97 | 1.63 | 1.36 | 1.05 | 1.93 | 1.18 | 0.46 |
| F_3 | 1.13 | 0.99 | 0.85 | 0.97 | 1.63 | 1.36 | 1.05 | 1.93 | 1.18 | 0.46 |

Tabla 8.20: Valores numéricos del Índice de capacidad dinámica, L_d , del indicador de Presión-Intensidad en la superficie, F_2 , y del indicador de potencia parcial negativa, F_3 para las frecuencias de 125 a 10000 Hz, para las 20 medidas realizadas con la sonda de intensidad y el espaciador de 12 mm

Otra de las comprobaciones que hay que realizar, es la adecuación del conjunto de posiciones de medida elegido, para lo cual se aplica el criterio 2 que indica la norma en su Anexo B, utilizando la ecuación (3.31) que relaciona el indicador F_4 , ecuación (3.28), y el factor C , que para nuestro caso de estudio, donde se tiene un Grado 2 de precisión, toma un valor de 11 (para las frecuencias de 50 a 160 Hz), 19 (para las frecuencias de 200 a 630 Hz), 29 (para las frecuencias de 800 a 5000 Hz) y 14 (para las frecuencias a partir de 6300 Hz).

De esta forma, la *Tabla 8.21* muestra los valores obtenidos del indicador de no uniformidad de campo, así como el producto de su cuadrado por el Factor C , para las frecuencias de 125 a 10000 Hz. En ella se ve como los valores obtenidos quedan por debajo de 20 en todas las frecuencias menos para 1600 Hz y 2000 Hz, siendo aquí su valor máximo de 23. Como este resultado es muy cercano al N seleccionado, y además se tiene que el criterio se cumple para casi todas las frecuencias, se considera que la adición de 3 posiciones nuevas de micrófono no aportarían diferencias significativas a los resultados obtenidos para el estudio del aspirador, con lo que se mantienen las posiciones iniciales.

| | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Hz | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 |
| F_4 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 0.4 | 0.3 | 0.5 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.6 |
| $C \cdot (F_4)^2$ | 2 | 4 | 12 | 3 | 2 | 5 | 3 | 5 | 5 | 10 |

| | | | | | | | | | | |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Hz | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 |
| F_4 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.8 | 0.6 | 0.4 | 0.6 | 0.7 |
| $C \cdot (F_4)^2$ | 14 | 23 | 23 | 14 | 7 | 19 | 10 | 2 | 5 | 7 |

Tabla 8.21: Indicadores de no uniformidad de campo para las frecuencias de 125 a 10000 Hz, para las 20 medidas realizadas con la sonda de intensidad y el espaciador de 12 mm

8.7.2. Aplicación del método de las imágenes al aspirador industrial.

Una vez comprobado que los niveles de potencia acústica obtenidos cumplen con las incertidumbres marcadas por la norma, se aplicará el método geométrico de la imágenes al aspirador industrial para obtener el $\cos \theta$ en cada uno de los 20 puntos de medida y así obtener el factor Δ_{cos} .

Para aplicar este método, se considera una fuente puntual, F , en el centro de la fuente real, es decir, en su eje de simetría y a 0,15 m del suelo, y otra, F' , que representa la reflexión en el suelo, situada en ese mismo eje y a 0,15 m por debajo del suelo (Figuras 8.21 y 8.22).

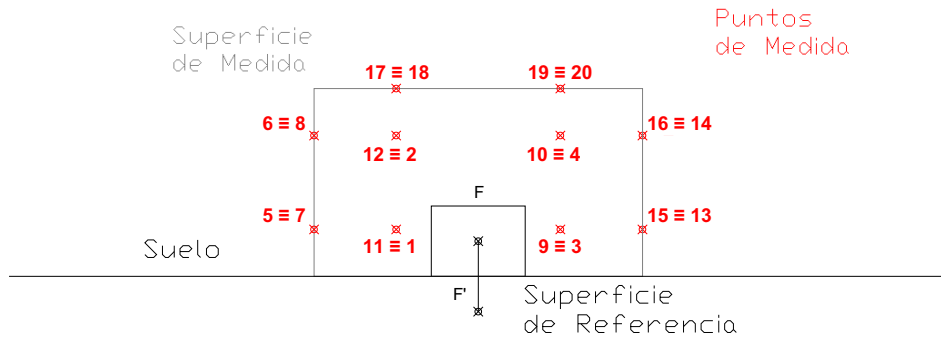


Figura 8.21: Situación de la fuente puntual F y de su imagen F' . Vista en perfil

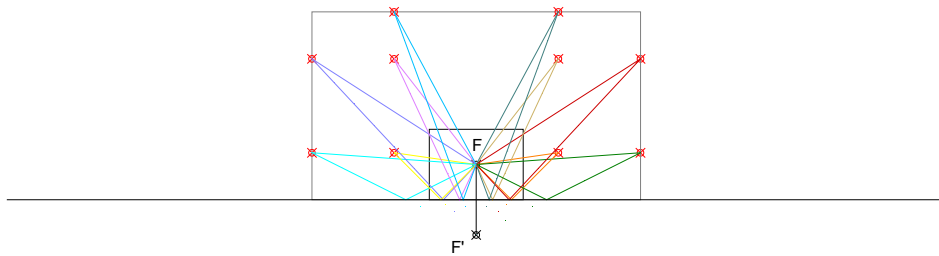


Figura 8.22: Trayectorias de la fuente puntual F y de su imagen F' . Vista en perfil

El sistema de referencia, se situó de forma que su centro quedara en el punto donde el eje de simetría intersecta al suelo, orientando el eje OZ hacia arriba y el OY hacia la cara que contiene los puntos 1,2,3 y 4 como puede apreciarse en la *Figura 8.23*.

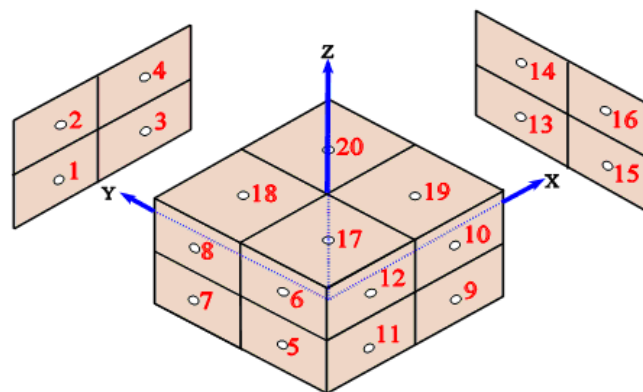


Figura 8.23: Posición y orientación del sistema de referencia seleccionado

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

Con el sistema de referencia ya fijado, se definen las coordenadas de las 2 fuentes y de los 20 puntos de medida, se calculan las distancias entre los puntos y las fuentes y se obtienen los $\cos \theta$ de las diferentes coordenadas. Las *Tablas 8.22 y 8.23* muestran todos estos resultados.

| | Coordenadas | | | Proyecciones | | | | | | | |
|------------------|-------------|-------|------|--------------|------------|------------|------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| | x | y | z | Δx | Δy | Δz | d | $ux (\cos \theta x)$ | $uy (\cos \theta y)$ | $uz (\cos \theta z)$ | $\cos \theta$ |
| Fuente F_{Asp} | 0 | 0 | 0.15 | | | | | | | | |
| Punto 1 | -0.35 | 0.7 | 0.2 | 0.35 | 0.7 | 0.05 | 0.78 | 0.446 | 0.893 | 0.064 | 0.893 |
| Punto 2 | -0.35 | 0.7 | 0.6 | 0.35 | 0.7 | 0.45 | 0.90 | 0.388 | 0.775 | 0.498 | 0.775 |
| Punto 3 | 0.35 | 0.7 | 0.2 | 0.35 | 0.7 | 0.05 | 0.78 | 0.446 | 0.893 | 0.064 | 0.893 |
| Punto 4 | 0.35 | 0.7 | 0.6 | 0.35 | 0.7 | 0.45 | 0.90 | 0.388 | 0.775 | 0.498 | 0.775 |
| Punto 5 | -0.7 | -0.35 | 0.2 | 0.7 | 0.35 | 0.05 | 0.78 | 0.893 | 0.446 | 0.064 | 0.893 |
| Punto 6 | -0.7 | -0.35 | 0.6 | 0.7 | 0.35 | 0.45 | 0.90 | 0.775 | 0.388 | 0.498 | 0.775 |
| Punto 7 | -0.7 | 0.35 | 0.2 | 0.7 | 0.35 | 0.05 | 0.78 | 0.893 | 0.446 | 0.064 | 0.893 |
| Punto 8 | -0.7 | 0.35 | 0.6 | 0.7 | 0.35 | 0.45 | 0.90 | 0.775 | 0.388 | 0.498 | 0.775 |
| Punto 9 | 0.35 | -0.7 | 0.2 | 0.35 | 0.7 | 0.05 | 0.78 | 0.446 | 0.893 | 0.064 | 0.893 |
| Punto 10 | 0.35 | -0.7 | 0.6 | 0.35 | 0.7 | 0.45 | 0.90 | 0.388 | 0.775 | 0.498 | 0.775 |
| Punto 11 | -0.35 | -0.7 | 0.2 | 0.35 | 0.7 | 0.05 | 0.78 | 0.446 | 0.893 | 0.064 | 0.893 |
| Punto 12 | -0.35 | -0.7 | 0.6 | 0.35 | 0.7 | 0.45 | 0.90 | 0.388 | 0.775 | 0.498 | 0.775 |
| Punto 13 | 0.7 | 0.35 | 0.2 | 0.7 | 0.35 | 0.05 | 0.78 | 0.893 | 0.446 | 0.064 | 0.893 |
| Punto 14 | 0.7 | 0.35 | 0.6 | 0.7 | 0.35 | 0.45 | 0.90 | 0.775 | 0.388 | 0.498 | 0.775 |
| Punto 15 | 0.7 | -0.35 | 0.2 | 0.7 | 0.35 | 0.05 | 0.78 | 0.893 | 0.446 | 0.064 | 0.893 |
| Punto 16 | 0.7 | -0.35 | 0.6 | 0.7 | 0.35 | 0.45 | 0.90 | 0.775 | 0.388 | 0.498 | 0.775 |
| Punto 17 | -0.35 | -0.35 | 0.8 | 0.35 | 0.35 | 0.65 | 0.82 | 0.428 | 0.428 | 0.796 | 0.796 |
| Punto 18 | -0.35 | 0.35 | 0.8 | 0.35 | 0.35 | 0.65 | 0.82 | 0.428 | 0.428 | 0.796 | 0.796 |
| Punto 19 | 0.35 | -0.35 | 0.8 | 0.35 | 0.35 | 0.65 | 0.82 | 0.428 | 0.428 | 0.796 | 0.796 |
| Punto 20 | 0.35 | 0.35 | 0.8 | 0.35 | 0.35 | 0.65 | 0.82 | 0.428 | 0.428 | 0.796 | 0.796 |

Tabla 8.22: Coordenadas, diferencias entre las coordenadas de los 27 puntos y la fuente F (Δx , Δy , Δz), distancia total y cosenos de θ para las diferentes coordenadas

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| | Coordenadas | | | Proyecciones | | | | | | | |
|--------------------|-------------|-------|-------|--------------|-------------|-------------|------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------|
| | x | y | z | $\Delta x'$ | $\Delta y'$ | $\Delta z'$ | d' | $ux' (\cos \theta x')$ | $uy' (\cos \theta y')$ | $uz' (\cos \theta z')$ | $\cos \theta$ |
| Fuente $F'_{A sp}$ | 0 | 0 | -0.15 | | | | | | | | |
| Punto 1 | -0.35 | 0.7 | 0.2 | 0.35 | 0.7 | 0.35 | 0.86 | 0.408 | 0.816 | 0.408 | 0.816 |
| Punto 2 | -0.35 | 0.7 | 0.6 | 0.35 | 0.7 | 0.75 | 1.08 | 0.323 | 0.646 | 0.692 | 0.646 |
| Punto 3 | 0.35 | 0.7 | 0.2 | 0.35 | 0.7 | 0.35 | 0.86 | 0.408 | 0.816 | 0.408 | 0.816 |
| Punto 4 | 0.35 | 0.7 | 0.6 | 0.35 | 0.7 | 0.75 | 1.08 | 0.323 | 0.646 | 0.692 | 0.646 |
| Punto 5 | -0.7 | -0.35 | 0.2 | 0.7 | 0.35 | 0.35 | 0.86 | 0.816 | 0.408 | 0.408 | 0.816 |
| Punto 6 | -0.7 | -0.35 | 0.6 | 0.7 | 0.35 | 0.75 | 1.08 | 0.646 | 0.323 | 0.692 | 0.646 |
| Punto 7 | -0.7 | 0.35 | 0.2 | 0.7 | 0.35 | 0.35 | 0.86 | 0.816 | 0.408 | 0.408 | 0.816 |
| Punto 8 | -0.7 | 0.35 | 0.6 | 0.7 | 0.35 | 0.75 | 1.08 | 0.646 | 0.323 | 0.692 | 0.646 |
| Punto 9 | 0.35 | -0.7 | 0.2 | 0.35 | 0.7 | 0.35 | 0.86 | 0.408 | 0.816 | 0.408 | 0.816 |
| Punto 10 | 0.35 | -0.7 | 0.6 | 0.35 | 0.7 | 0.75 | 1.08 | 0.323 | 0.646 | 0.692 | 0.646 |
| Punto 11 | -0.35 | -0.7 | 0.2 | 0.35 | 0.7 | 0.35 | 0.86 | 0.408 | 0.816 | 0.408 | 0.816 |
| Punto 12 | -0.35 | -0.7 | 0.6 | 0.35 | 0.7 | 0.75 | 1.08 | 0.323 | 0.646 | 0.692 | 0.646 |
| Punto 13 | 0.7 | 0.35 | 0.2 | 0.7 | 0.35 | 0.35 | 0.86 | 0.816 | 0.408 | 0.408 | 0.816 |
| Punto 14 | 0.7 | 0.35 | 0.6 | 0.7 | 0.35 | 0.75 | 1.08 | 0.646 | 0.323 | 0.692 | 0.646 |
| Punto 15 | 0.7 | -0.35 | 0.2 | 0.7 | 0.35 | 0.35 | 0.86 | 0.816 | 0.408 | 0.408 | 0.816 |
| Punto 16 | 0.7 | -0.35 | 0.6 | 0.7 | 0.35 | 0.75 | 1.08 | 0.646 | 0.323 | 0.692 | 0.646 |
| Punto 17 | -0.35 | -0.35 | 0.8 | 0.35 | 0.35 | 0.95 | 1.07 | 0.327 | 0.327 | 0.887 | 0.887 |
| Punto 18 | -0.35 | 0.35 | 0.8 | 0.35 | 0.35 | 0.95 | 1.07 | 0.327 | 0.327 | 0.887 | 0.887 |
| Punto 19 | 0.35 | -0.35 | 0.8 | 0.35 | 0.35 | 0.95 | 1.07 | 0.327 | 0.327 | 0.887 | 0.887 |
| Punto 20 | 0.35 | 0.35 | 0.8 | 0.35 | 0.35 | 0.95 | 1.07 | 0.327 | 0.327 | 0.887 | 0.887 |

Tabla 8.23: Coordenadas, diferencias entre las coordenadas de los 27 puntos y la fuente F' (Δx , Δy , Δz), distancia total y cosenos de θ para las diferentes coordenadas

8.7.3. Alternativas propuestas para la estimación del factor Δ_{cos} .

Una vez declaradas las componentes geométricas y conocidos los $\cos \theta$ para los 20 puntos de medida, se evaluarán dos alternativas para obtener el factor Δ_{cos} .

■ Alternativa 1

La primera corrección que se propone es en base a los cosenos de los ángulos que forman los rayos que le llegan a cada punto procedentes de las dos fuentes, con la perpendicular a la cara correspondiente del paralelepípedo; pero como no es posible saber la contribución de cada fuente a la medida de presión obtenida en cada punto, no se puede utilizar cada uno de estos cosenos por separado, de forma que se plantea utilizar su valor medio.

Así, la *Tabla 8.24* muestra por un lado el coseno del ángulo que forma la recta que une cada fuente con cada punto, y la perpendicular a la superficie de medida en ese punto, $\cos \theta$, y además, se representa el valor medio de los dos cosenos anteriores.

| | Coordenadas | | | F | F' | $\cos \theta Medio$ |
|----------|-------------|-------|-----|---------------|---------------|---------------------|
| | x | y | z | $\cos \theta$ | $\cos \theta$ | |
| Punto 1 | -0.35 | 0.7 | 0.2 | 0.893 | 0.816 | 0.855 |
| Punto 2 | -0.35 | 0.7 | 0.6 | 0.775 | 0.646 | 0.711 |
| Punto 3 | 0.35 | 0.7 | 0.2 | 0.893 | 0.816 | 0.855 |
| Punto 4 | 0.35 | 0.7 | 0.6 | 0.775 | 0.646 | 0.711 |
| Punto 5 | -0.7 | -0.35 | 0.2 | 0.893 | 0.816 | 0.855 |
| Punto 6 | -0.7 | -0.35 | 0.6 | 0.775 | 0.646 | 0.711 |
| Punto 7 | -0.7 | 0.35 | 0.2 | 0.893 | 0.816 | 0.855 |
| Punto 8 | -0.7 | 0.35 | 0.6 | 0.775 | 0.646 | 0.711 |
| Punto 9 | 0.35 | -0.7 | 0.2 | 0.893 | 0.816 | 0.855 |
| Punto 10 | 0.35 | -0.7 | 0.6 | 0.775 | 0.646 | 0.711 |
| Punto 11 | -0.35 | -0.7 | 0.2 | 0.893 | 0.816 | 0.855 |
| Punto 12 | -0.35 | -0.7 | 0.6 | 0.775 | 0.646 | 0.711 |
| Punto 13 | 0.7 | 0.35 | 0.2 | 0.893 | 0.816 | 0.855 |
| Punto 14 | 0.7 | 0.35 | 0.6 | 0.775 | 0.646 | 0.711 |
| Punto 15 | 0.7 | -0.35 | 0.2 | 0.893 | 0.816 | 0.855 |
| Punto 16 | 0.7 | -0.35 | 0.6 | 0.775 | 0.646 | 0.711 |
| Punto 17 | -0.35 | -0.35 | 0.8 | 0.796 | 0.887 | 0.841 |
| Punto 18 | -0.35 | 0.35 | 0.8 | 0.796 | 0.887 | 0.841 |
| Punto 19 | 0.35 | -0.35 | 0.8 | 0.796 | 0.887 | 0.841 |
| Punto 20 | 0.35 | 0.35 | 0.8 | 0.796 | 0.887 | 0.841 |

Tabla 8.24: Coordenadas de los 20 puntos de medida, sus $\cos \theta$ y $\cos \theta Medio$

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

A continuación, la potencia obtenida por presión en cada punto para cada tercio de octava, se multiplicó por el coseno medio calculado para dicho punto. Sumando todos los puntos, se obtiene el nivel de potencia corregido 1 para cada frecuencia, según la ecuación (8.23).

$$L_{Wpf1} = 10 \cdot \log \left(\sum_i S_i \cdot 10^{L_{pif}/10} \cdot \cos \theta_i \right) \quad (8.23)$$

Los niveles obtenidos se muestran en la Tabla 8.25, donde también se muestra el nivel global, que queda establecido en 93,1 dB.

| Hz | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| LW (dB) | 59.0 | 66.2 | 85.6 | 71.4 | 73.3 | 79.6 | 79.3 | 80.7 | 78.6 | 80.6 | 89.2 |

| Hz | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 | L |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------------|
| LW (dB) | 77.8 | 78.3 | 77.7 | 76.1 | 74.1 | 73.2 | 73.1 | 71.0 | 66.3 | 93.1 |

Tabla 8.25: Niveles de potencia corregidos. Alternativa 1

Finalmente, la Figura 8.24 compara estos niveles con los obtenidos mediante intensidad.

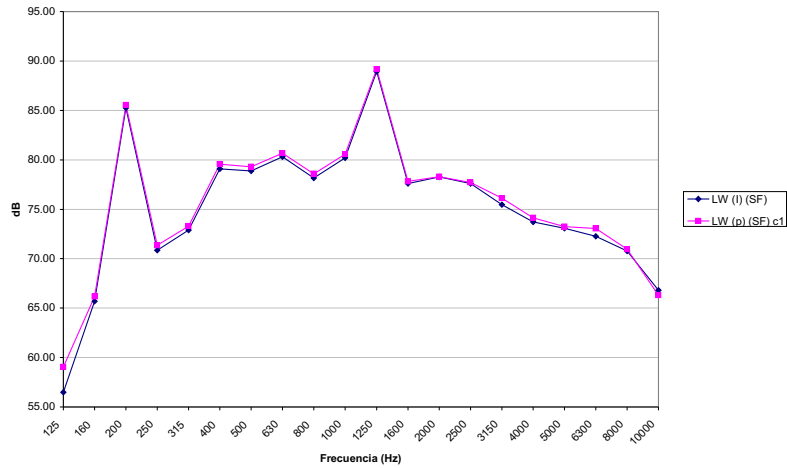


Figura 8.24: Niveles de potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz por presión calculados con la alternativa 1 y por intensidad

El que la alternativa 1 dé unos valores por encima de los de intensidad, indica que el vector intensidad tiene un ángulo de inclinación respecto la perpendicular a la superficie de medida, mayor de lo que representa la modelización con las 2 fuentes. Este hecho es bastante común en las máquinas industriales, donde los puntos productores de ruido se encuentran por lo general alejados de lo que podría ser su eje.

■ Alternativa 2

En esta segunda alternativa, con el fin de minimizar los cálculos necesarios, se probó corregir todas las potencias obtenidas por presión en cada punto, con un mismo factor, media de todos los cosenos calculados para las dos fuentes. La *Tabla 8.26* muestra estos cosenos y el coseno media de todos que toma un valor de 0,7943.

| | Coordenadas | | | F | F' |
|--|-------------|-------|-----|---------------|---------------|
| | x | y | z | $\cos \theta$ | $\cos \theta$ |
| Punto 1 | -0.35 | 0.7 | 0.2 | 0.893 | 0.816 |
| Punto 2 | -0.35 | 0.7 | 0.6 | 0.775 | 0.646 |
| Punto 3 | 0.35 | 0.7 | 0.2 | 0.893 | 0.816 |
| Punto 4 | 0.35 | 0.7 | 0.6 | 0.775 | 0.646 |
| Punto 5 | -0.7 | -0.35 | 0.2 | 0.893 | 0.816 |
| Punto 6 | -0.7 | -0.35 | 0.6 | 0.775 | 0.646 |
| Punto 7 | -0.7 | 0.35 | 0.2 | 0.893 | 0.816 |
| Punto 8 | -0.7 | 0.35 | 0.6 | 0.775 | 0.646 |
| Punto 9 | 0.35 | -0.7 | 0.2 | 0.893 | 0.816 |
| Punto 10 | 0.35 | -0.7 | 0.6 | 0.775 | 0.646 |
| Punto 11 | -0.35 | -0.7 | 0.2 | 0.893 | 0.816 |
| Punto 12 | -0.35 | -0.7 | 0.6 | 0.775 | 0.646 |
| Punto 13 | 0.7 | 0.35 | 0.2 | 0.893 | 0.816 |
| Punto 14 | 0.7 | 0.35 | 0.6 | 0.775 | 0.646 |
| Punto 15 | 0.7 | -0.35 | 0.2 | 0.893 | 0.816 |
| Punto 16 | 0.7 | -0.35 | 0.6 | 0.775 | 0.646 |
| Punto 17 | -0.35 | -0.35 | 0.8 | 0.796 | 0.887 |
| Punto 18 | -0.35 | 0.35 | 0.8 | 0.796 | 0.887 |
| Punto 19 | 0.35 | -0.35 | 0.8 | 0.796 | 0.887 |
| Punto 20 | 0.35 | 0.35 | 0.8 | 0.796 | 0.887 |
| Media de los $\cos \theta \Rightarrow$ | | | | 0.7943 | |

Tabla 8.26: Coordenadas de los 20 puntos de medida, sus $\cos \theta$ y media de todos los $\cos \theta$

Así, una vez obtenido el factor dado por la media de los cosenos, se obtienen los niveles de potencia acústica corregidos, aplicando la ecuación (8.24).

$$L_{Wpf1} = 10 \cdot \log \left(\cos \bar{\theta} \sum_i S_i \cdot 10^{L_{pif}/10} \right) \quad (8.24)$$

La *Tabla 8.27* muestra estos niveles para cada tercio de octava, así como el nivel global, que queda establecido en 92,9 dB, y la *Figura 8.25* los compara con los obtenidos mediante intensidad.

| Hz | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| LW (dB) | 59.0 | 66.1 | 85.5 | 71.3 | 73.2 | 79.5 | 79.2 | 80.6 | 78.5 | 80.4 | 89.0 |

| Hz | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 | L |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------------|
| LW (dB) | 77.6 | 78.1 | 77.6 | 76.0 | 74.0 | 73.1 | 73.1 | 70.9 | 66.2 | 92.9 |

Tabla 8.27: Niveles de potencia corregidos. Alternativa 2

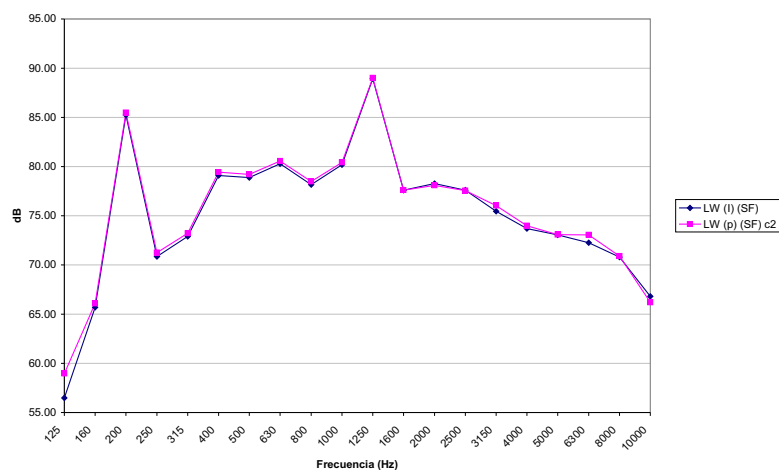


Figura 8.25: Niveles de potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz por presión calculados con la alternativa 2 y por intensidad

La alternativa 2, al utilizar un factor común para todos los puntos y ambas fuentes, penaliza las medidas de presión provenientes de la fuente directa, mayores que las de la reflejada, dando así un nivel menor y un mejor ajuste que la alternativa 1.

Pese a que, como se ha dicho, la modelización con 2 fuentes no se ajusta a la realidad de emisión, se ha visto que éste puede ser un método sencillo y eficaz para obtener un factor de corrección sobre las medidas de presión, para ajustarse con más exactitud a la potencia emitida.

La alternativa de corrección 2 sobre las medidas de presión, da un mejor ajuste con los resultados de intensidad, no sólo a nivel global sino también por frecuencias, donde ambas curvas quedan prácticamente solapadas. Así, esta estimación es la seleccionada para la obtención del factor Δ_{cos} en la fuente de estudio. En el subapartado siguiente, se procederá a dicho cálculo.

8.7.4. Obtención del factor Δ_{cos} de la fuente bajo ensayo.

Para comenzar con el cálculo del factor Δ_{cos} se definen las coordenadas de los 27 puntos de medida y de las fuentes F_1 , en el centro de la fuente real, y F_2 que representa su reflexión en el suelo, tomando como sistema de referencia el mismo que se utilizó en el método de las imágenes. Así, una vez definidas las coordenadas, se calculan las distancias entre los puntos y las fuentes y se obtienen los diferentes $\cos \theta$ (Tablas 8.28 y 8.29).

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| | Coordenadas | | | Proyecciones | | | | | | | |
|--------------|-------------|-------|------|--------------|------------|------------|------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| | x | y | z | Δx | Δy | Δz | d | $ux (\cos \theta x)$ | $uy (\cos \theta y)$ | $uz (\cos \theta z)$ | $\cos \theta$ |
| Fuente F_1 | 0.00 | -0.46 | 0.99 | | | | | | | | |
| Punto 1 | 0.72 | -1.42 | 0.41 | 0.72 | 0.96 | 0.58 | 1.33 | 0.541 | 0.721 | 0.433 | 0.721 |
| Punto 2 | 0.72 | -1.42 | 1.24 | 0.72 | 0.96 | 0.25 | 1.23 | 0.587 | 0.783 | 0.204 | 0.783 |
| Punto 3 | 0.72 | -1.42 | 2.07 | 0.72 | 0.96 | 1.08 | 1.61 | 0.447 | 0.595 | 0.668 | 0.595 |
| Punto 4 | 0.00 | -1.42 | 0.41 | 0.00 | 0.96 | 0.58 | 1.12 | 0.000 | 0.857 | 0.515 | 0.857 |
| Punto 5 | 0.00 | -1.42 | 1.24 | 0.00 | 0.96 | 0.25 | 0.99 | 0.000 | 0.968 | 0.252 | 0.968 |
| Punto 6 | 0.00 | -1.42 | 2.07 | 0.00 | 0.96 | 1.08 | 1.44 | 0.000 | 0.666 | 0.746 | 0.666 |
| Punto 7 | -0.72 | -1.42 | 0.41 | 0.72 | 0.96 | 0.58 | 1.33 | 0.541 | 0.721 | 0.433 | 0.721 |
| Punto 8 | -0.72 | -1.42 | 1.24 | 0.72 | 0.96 | 0.25 | 1.23 | 0.587 | 0.783 | 0.204 | 0.783 |
| Punto 9 | -0.72 | -1.42 | 2.07 | 0.72 | 0.96 | 1.08 | 1.61 | 0.447 | 0.595 | 0.668 | 0.595 |
| Punto 10 | 1.08 | -0.36 | 0.41 | 1.08 | 0.11 | 0.58 | 1.23 | 0.879 | 0.085 | 0.469 | 0.879 |
| Punto 11 | 1.08 | -0.36 | 1.24 | 1.08 | 0.11 | 0.25 | 1.11 | 0.970 | 0.094 | 0.225 | 0.970 |
| Punto 12 | 1.08 | -0.36 | 2.07 | 1.08 | 0.11 | 1.08 | 1.53 | 0.707 | 0.069 | 0.704 | 0.707 |
| Punto 13 | 1.08 | -1.07 | 0.41 | 1.08 | 0.61 | 0.58 | 1.37 | 0.791 | 0.443 | 0.422 | 0.791 |
| Punto 14 | 1.08 | -1.07 | 1.24 | 1.08 | 0.61 | 0.25 | 1.26 | 0.855 | 0.479 | 0.198 | 0.855 |
| Punto 15 | 1.08 | -1.07 | 2.07 | 1.08 | 0.61 | 1.08 | 1.64 | 0.658 | 0.369 | 0.656 | 0.658 |
| Punto 16 | -1.08 | -0.36 | 0.41 | 1.08 | 0.11 | 0.58 | 1.23 | 0.879 | 0.085 | 0.469 | 0.879 |
| Punto 17 | -1.08 | -0.36 | 1.24 | 1.08 | 0.11 | 0.25 | 1.11 | 0.970 | 0.094 | 0.225 | 0.970 |
| Punto 18 | -1.08 | -0.36 | 2.07 | 1.08 | 0.11 | 1.08 | 1.53 | 0.707 | 0.069 | 0.704 | 0.707 |
| Punto 19 | -1.08 | -1.07 | 0.41 | 1.08 | 0.61 | 0.58 | 1.37 | 0.791 | 0.443 | 0.422 | 0.791 |
| Punto 20 | -1.08 | -1.07 | 1.24 | 1.08 | 0.61 | 0.25 | 1.26 | 0.855 | 0.479 | 0.198 | 0.855 |
| Punto 21 | -1.08 | -1.07 | 2.07 | 1.08 | 0.61 | 1.08 | 1.64 | 0.658 | 0.369 | 0.656 | 0.658 |
| Punto 22 | -0.72 | -0.36 | 2.48 | 0.72 | 0.11 | 1.49 | 1.66 | 0.434 | 0.063 | 0.899 | 0.899 |
| Punto 23 | 0.00 | -0.36 | 2.48 | 0.00 | 0.11 | 1.49 | 1.49 | 0.000 | 0.070 | 0.998 | 0.998 |
| Punto 24 | 0.72 | -0.36 | 2.48 | 0.72 | 0.11 | 1.49 | 1.66 | 0.434 | 0.063 | 0.899 | 0.899 |
| Punto 25 | -0.72 | -1.07 | 2.48 | 0.72 | 0.61 | 1.49 | 1.76 | 0.409 | 0.343 | 0.846 | 0.846 |
| Punto 26 | 0.00 | -1.07 | 2.48 | 0.00 | 0.61 | 1.49 | 1.61 | 0.000 | 0.376 | 0.927 | 0.927 |
| Punto 27 | 0.72 | -1.07 | 2.48 | 0.72 | 0.61 | 1.49 | 1.76 | 0.409 | 0.343 | 0.846 | 0.846 |

Tabla 8.28: Coordenadas, diferencias entre las coordenadas de los 27 puntos y la fuente F_1 (Δx , Δy , Δz), distancia total y cosenos de θ para las diferentes coordenadas

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| | Coordenadas | | | Proyecciones | | | | | | | |
|--------------|-------------|-------|-------|--------------|------------|------------|------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| | x | y | z | Δx | Δy | Δz | d | $ux (\cos \theta x)$ | $uy (\cos \theta y)$ | $uz (\cos \theta z)$ | $\cos \theta$ |
| Fuente F_2 | 0.00 | -0.46 | -0.99 | | | | | | | | |
| Punto 1 | 0.72 | -1.42 | 0.41 | 0.72 | 0.96 | 1.40 | 1.85 | 0.390 | 0.520 | 0.760 | 0.520 |
| Punto 2 | 0.72 | -1.42 | 1.24 | 0.72 | 0.96 | 2.23 | 2.53 | 0.284 | 0.379 | 0.881 | 0.379 |
| Punto 3 | 0.72 | -1.42 | 2.07 | 0.72 | 0.96 | 3.06 | 3.28 | 0.219 | 0.292 | 0.931 | 0.292 |
| Punto 4 | 0.00 | -1.42 | 0.41 | 0.00 | 0.96 | 1.40 | 1.70 | 0.000 | 0.565 | 0.825 | 0.565 |
| Punto 5 | 0.00 | -1.42 | 1.24 | 0.00 | 0.96 | 2.23 | 2.43 | 0.000 | 0.395 | 0.919 | 0.395 |
| Punto 6 | 0.00 | -1.42 | 2.07 | 0.00 | 0.96 | 3.06 | 3.20 | 0.000 | 0.300 | 0.954 | 0.300 |
| Punto 7 | -0.72 | -1.42 | 0.41 | 0.72 | 0.96 | 1.40 | 1.85 | 0.390 | 0.520 | 0.760 | 0.520 |
| Punto 8 | -0.72 | -1.42 | 1.24 | 0.72 | 0.96 | 2.23 | 2.53 | 0.284 | 0.379 | 0.881 | 0.379 |
| Punto 9 | -0.72 | -1.42 | 2.07 | 0.72 | 0.96 | 3.06 | 3.28 | 0.219 | 0.292 | 0.931 | 0.292 |
| Punto 10 | 1.08 | -0.36 | 0.41 | 1.08 | 0.11 | 1.40 | 1.77 | 0.609 | 0.059 | 0.791 | 0.609 |
| Punto 11 | 1.08 | -0.36 | 1.24 | 1.08 | 0.11 | 2.23 | 2.48 | 0.435 | 0.042 | 0.899 | 0.435 |
| Punto 12 | 1.08 | -0.36 | 2.07 | 1.08 | 0.11 | 3.06 | 3.24 | 0.333 | 0.032 | 0.942 | 0.333 |
| Punto 13 | 1.08 | -1.07 | 0.41 | 1.08 | 0.61 | 1.40 | 1.87 | 0.577 | 0.323 | 0.750 | 0.577 |
| Punto 14 | 1.08 | -1.07 | 1.24 | 1.08 | 0.61 | 2.23 | 2.55 | 0.423 | 0.237 | 0.874 | 0.423 |
| Punto 15 | 1.08 | -1.07 | 2.07 | 1.08 | 0.61 | 3.06 | 3.30 | 0.327 | 0.183 | 0.927 | 0.327 |
| Punto 16 | -1.08 | -0.36 | 0.41 | 1.08 | 0.11 | 1.40 | 1.77 | 0.609 | 0.059 | 0.791 | 0.609 |
| Punto 17 | -1.08 | -0.36 | 1.24 | 1.08 | 0.11 | 2.23 | 2.48 | 0.435 | 0.042 | 0.899 | 0.435 |
| Punto 18 | -1.08 | -0.36 | 2.07 | 1.08 | 0.11 | 3.06 | 3.24 | 0.333 | 0.032 | 0.942 | 0.333 |
| Punto 19 | -1.08 | -1.07 | 0.41 | 1.08 | 0.61 | 1.40 | 1.87 | 0.577 | 0.323 | 0.750 | 0.577 |
| Punto 20 | -1.08 | -1.07 | 1.24 | 1.08 | 0.61 | 2.23 | 2.55 | 0.423 | 0.237 | 0.874 | 0.423 |
| Punto 21 | -1.08 | -1.07 | 2.07 | 1.08 | 0.61 | 3.06 | 3.30 | 0.327 | 0.183 | 0.927 | 0.327 |
| Punto 22 | -0.72 | -0.36 | 2.48 | 0.72 | 0.11 | 3.47 | 3.55 | 0.203 | 0.030 | 0.979 | 0.979 |
| Punto 23 | 0.00 | -0.36 | 2.48 | 0.00 | 0.11 | 3.47 | 3.47 | 0.000 | 0.030 | 1.000 | 1.000 |
| Punto 24 | 0.72 | -0.36 | 2.48 | 0.72 | 0.11 | 3.47 | 3.55 | 0.203 | 0.030 | 0.979 | 0.979 |
| Punto 25 | -0.72 | -1.07 | 2.48 | 0.72 | 0.61 | 3.47 | 3.60 | 0.200 | 0.168 | 0.965 | 0.965 |
| Punto 26 | 0.00 | -1.07 | 2.48 | 0.00 | 0.61 | 3.47 | 3.52 | 0.000 | 0.172 | 0.985 | 0.985 |
| Punto 27 | 0.72 | -1.07 | 2.48 | 0.72 | 0.61 | 3.47 | 3.60 | 0.200 | 0.168 | 0.965 | 0.965 |

Tabla 8.29: Coordenadas, diferencias entre las coordenadas de los 27 puntos y la fuente F_2 (Δx , Δy , Δz), distancia total y cosenos de θ para las diferentes coordenadas

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

Una vez obtenidos todos los $\cos \theta$ se calcula su media, resultando un valor de 0.6805, como se muestra en la *Tabla 8.30*.

| | Coordenadas | | | F_1 | F_2 |
|--|-------------|-------|------|---------------|---------------|
| | x | y | z | $\cos \theta$ | $\cos \theta$ |
| Punto 1 | 0.72 | -1.42 | 0.41 | 0.721 | 0.520 |
| Punto 2 | 0.72 | -1.42 | 1.24 | 0.783 | 0.379 |
| Punto 3 | 0.72 | -1.42 | 2.07 | 0.595 | 0.292 |
| Punto 4 | 0.00 | -1.42 | 0.41 | 0.857 | 0.565 |
| Punto 5 | 0.00 | -1.42 | 1.24 | 0.968 | 0.395 |
| Punto 6 | 0.00 | -1.42 | 2.07 | 0.666 | 0.300 |
| Punto 7 | -0.72 | -1.42 | 0.41 | 0.721 | 0.520 |
| Punto 8 | -0.72 | -1.42 | 1.24 | 0.783 | 0.379 |
| Punto 9 | -0.72 | -1.42 | 2.07 | 0.595 | 0.292 |
| Punto 10 | 1.08 | -0.36 | 0.41 | 0.879 | 0.609 |
| Punto 11 | 1.08 | -0.36 | 1.24 | 0.970 | 0.435 |
| Punto 12 | 1.08 | -0.36 | 2.07 | 0.707 | 0.333 |
| Punto 13 | 1.08 | -1.07 | 0.41 | 0.791 | 0.577 |
| Punto 14 | 1.08 | -1.07 | 1.24 | 0.855 | 0.423 |
| Punto 15 | 1.08 | -1.07 | 2.07 | 0.658 | 0.327 |
| Punto 16 | -1.08 | -0.36 | 0.41 | 0.879 | 0.609 |
| Punto 17 | -1.08 | -0.36 | 1.24 | 0.970 | 0.435 |
| Punto 18 | -1.08 | -0.36 | 2.07 | 0.707 | 0.333 |
| Punto 19 | -1.08 | -1.07 | 0.41 | 0.791 | 0.577 |
| Punto 20 | -1.08 | -1.07 | 1.24 | 0.855 | 0.423 |
| Punto 21 | -1.08 | -1.07 | 2.07 | 0.658 | 0.327 |
| Punto 22 | -0.72 | -0.36 | 2.48 | 0.899 | 0.979 |
| Punto 23 | 0.00 | -0.36 | 2.48 | 0.998 | 1.000 |
| Punto 24 | 0.72 | -0.36 | 2.48 | 0.899 | 0.979 |
| Punto 25 | -0.72 | -1.07 | 2.48 | 0.846 | 0.965 |
| Punto 26 | 0.00 | -1.07 | 2.48 | 0.927 | 0.985 |
| Punto 27 | 0.72 | -1.07 | 2.48 | 0.846 | 0.965 |
| Media de los $\cos \theta \Rightarrow$ | | | | 0.6805 | |

Tabla 8.30: Coordenadas de los 27 puntos de medida, sus $\cos \theta$ y el $\cos \theta$ medio

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

A continuación, solamente quedaría calcular el factor Δ_{cos} que depende de este $\cos \theta$ obtenido. La relación entre el factor Δ_{cos} , que como se definió en las ecuaciones (8.4) y (8.5) es el factor entre la potencia calculada por intensidad y por presión, y el $\cos \theta$ viene dada por la expresión:

$$\Delta_{cos} = 1 / \cos \theta \quad (8.25)$$

Así, el valor del factor Δ_{cos} para el caso de estudio es 1.465.

8.8. Obtención de los niveles de potencia acústica de la fuente bajo ensayo

Una vez conocidos $WI_{(SF)}$, $Wp_{(SF)}$, $WI_{(CF)}$, W_{Id} , W_{Ir} , α y Δ_{cos} para poder calcular W de la ecuación (8.11), queda obtener el factor f_s que relaciona las superficies absorbentes con la superficie total de la superficie de medida y el panel absorbente trasero, ecuación (8.26).

$$f_s = \frac{AreaAbsorbente}{AreaTotal} \quad (8.26)$$

Así, siendo la suma de las superficies absorbentes de $10,666 m^2$ y el área total igual a $20,824 m^2$, el factor f_s toma finalmente un valor de $0,512$.

Una vez conocido f_s , ya se puede obtener la potencia de la fuente bajo ensayo W . La *Tabla 8.31* muestra sus niveles de potencia y su valor global de $86,5 dB$.

| Hz | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| LW (dB) | 75.2 | 78.5 | 80.6 | 75.9 | 72.3 | 76.3 | 72.5 | 78.1 | 70.5 | 69.2 | 68.4 |

| Hz | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 | L |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| LW (dB) | 65.5 | 64.9 | 66.0 | 65.0 | 63.1 | 61.0 | 60.5 | 58.2 | 55.3 | 86.5 |

Tabla 8.31: Niveles de la potencia acústica de la fuente bajo ensayo

Por otro lado, la *Tabla 8.32* agrupa los niveles de la potencia acústica de la fuente sonora bajo ensayo, los niveles de las potencias utilizadas para su cálculo y el coeficiente de absorción de los paneles para las frecuencias de 125 a 10000 Hz.

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| Frecuencia (Hz) | $LWI_{(SF)}$ (dB) | $LWP_{(SF)}$ (dB) | $LWI_{(CF)}$ (dB) | LW_{Id} (dB) | LW_{Ir} (dB) | α | LW_{amb} (dB) | LW (dB) |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|----------|--------------------|-------------------|
| 125 | 74.6 | 78.1 | 72.3 | 72.5 | 73.6 | 0.74 | 70.1 | 75.2 |
| 160 | 78.1 | 80.9 | 68.5 | 78.2 | 79.4 | 0.90 | 70.8 | 78.5 |
| 200 | 80.6 | 82.4 | 79.4 | 81.6 | 82.7 | 0.38 | 63.9 | 80.6 |
| 250 | 75.5 | 79.0 | 71.4 | 79.8 | 80.9 | 0.62 | 71.1 | 75.9 |
| 315 | 72.1 | 75.2 | 61.5 | 78.6 | 79.7 | 0.39 | 66.7 | 72.3 |
| 400 | 76.2 | 78.5 | 77.0 | 77.0 | 78.1 | 0.11 | 66.6 | 76.3 |
| 500 | 72.3 | 74.8 | 67.8 | 75.0 | 76.1 | 0.50 | 64.0 | 72.5 |
| 630 | 78.2 | 80.3 | 78.8 | 71.9 | 73.0 | -0.25 | 67.2 | 78.1 |
| 800 | 70.2 | 73.6 | 69.5 | 71.1 | 72.2 | 0.32 | 65.5 | 70.5 |
| 1000 | 69.1 | 72.2 | 69.8 | 70.8 | 71.9 | 0.14 | 63.5 | 69.2 |
| 1250 | 68.0 | 71.5 | 65.1 | 68.7 | 69.8 | 0.54 | 63.6 | 68.4 |
| 1600 | 65.4 | 67.7 | 60.3 | 70.1 | 71.2 | 0.41 | 55.7 | 65.5 |
| 2000 | 64.8 | 66.8 | 61.6 | 70.0 | 71.2 | 0.57 | 51.3 | 64.9 |
| 2500 | 66.0 | 67.7 | 64.5 | 63.6 | 64.7 | 0.64 | 39.6 | 66.0 |
| 3150 | 65.0 | 66.9 | 64.2 | 59.8 | 60.9 | 0.63 | 50.8 | 65.0 |
| 4000 | 63.1 | 64.9 | 63.4 | 56.3 | 57.4 | -0.07 | 47.5 | 63.1 |
| 5000 | 61.1 | 63.3 | 62.5 | 58.9 | 60.1 | -0.26 | 51.1 | 61.0 |
| 6300 | 60.5 | 62.3 | 61.7 | 60.2 | 61.3 | -0.02 | 39.9 | 60.5 |
| 8000 | 58.2 | 60.0 | 60.1 | 62.4 | 63.6 | 0.07 | 38.9 | 58.2 |
| 10000 | 55.3 | 56.5 | 58.0 | 56.1 | 57.2 | -0.34 | 44.2 | 55.3 |
| L | 86.3 | 88.8 | 84.7 | 87.4 | 88.6 | | 78.0 | 86.5 |

Tabla 8.32: Niveles de la potencia acústica de la fuente sonora bajo ensayo, niveles de las potencias utilizadas para su cálculo y el coeficiente de absorción de los paneles para las frecuencias 125-10000 Hz

Seguidamente, la *Figura 8.26* compara los niveles de la potencia acústica de la fuente bajo ensayo obtenidos por el método teórico planteado con los obtenidos por medio de las medidas de intensidad sin la fuente omnidireccional.

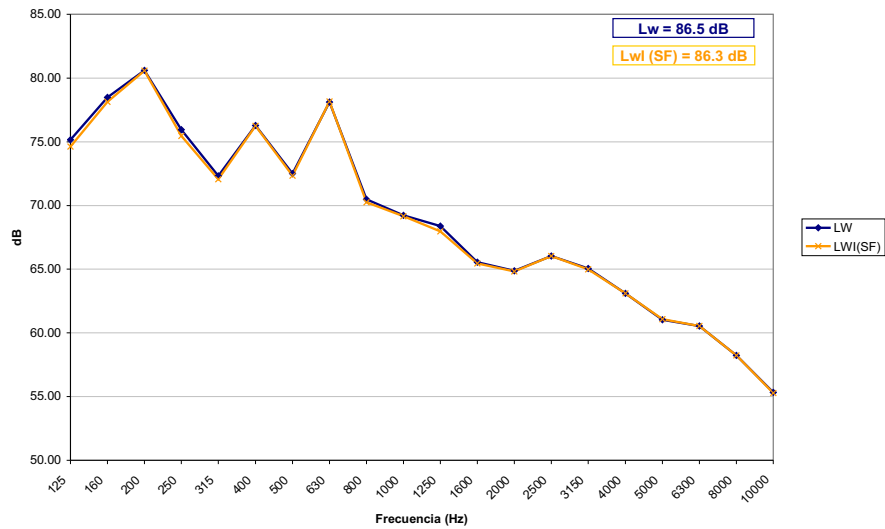


Figura 8.26: Comparación de los niveles de la potencia acústica de la fuente bajo ensayo obtenidos por el método planteado con los 27 puntos de medida y por medio de las medidas de intensidad sin la fuente omnidireccional

De la comparativa de niveles de la figura anterior, se observa que la presencia de aislamiento dentro de nuestra definición de fuente sonora hace que, por culpa de la existencia de ruido ambiental, los niveles de potencia obtenidos con las medidas de intensidad sin la fuente externa omnidireccional (gráfica amarilla) sean menores que los niveles reales de la fuente, como coincide con los niveles obtenidos con el método alternativo planteado (gráfica azul).

Estos resultados obtenidos son para el caso de una influencia del ruido ambiente no demasiado importante, pero para casos donde el ambiente fuese mayor esta diferencia entre niveles se vería ampliamente resaltada.

De esta forma, se tiene un método para obtener unos resultados con unos límites aceptables de incertidumbre cuando se tengan las condiciones del ensayo estudiado, siendo válido también para el caso más crítico y desfavorable, en el que exista un ruido ambiental muy elevado.

Llegados a este punto, quedaría mejorar los resultados obtenidos para el coeficiente de absorción de los paneles absorbentes (algunos valores resultaban negativos) debido al hecho de que la caracterización de los 27 elementos superficiales se ha realizado con las medidas de

intensidad en puntos discretos.

Para intentar solventar esta deficiencia y obtener unos resultados mas fidedignos, en el apartado siguiente se plantea obtener los parámetros $WI_{(SF)}$, $Wp_{(SF)}$ y $WI_{(CF)}$ a partir de mediciones por barrido aplicando la norma ISO 9614-2 [40] para conseguir una mejor caracterización de los elementos superficiales [10], [50], [62], [71], [72], [84], [92].

8.9. Aplicación del método alternativo con medidas de intensidad por barridos (ISO 9614-2 [40]).

En este caso, en lugar de realizar la mediciones de intensidad en puntos discretos, se emplea la técnica por barrido siguiendo las directrices dadas por la norma ISO 9614-2 [40]. De esta forma, se realizarán dos tipos de barridos: uno de 18 superficies de barrido y otro de 10.

8.9.1. Medidas de intensidad realizando 18 Barridos

En esta primera opción, se tiene también una superficie de medida paralelepípeda de dimensiones $2,16 \cdot 1,42 \cdot 2,48 \text{ m}$ y se definen 18 elementos de superficie para la realización de los barridos (*Figuras 8.27 y 8.28*).

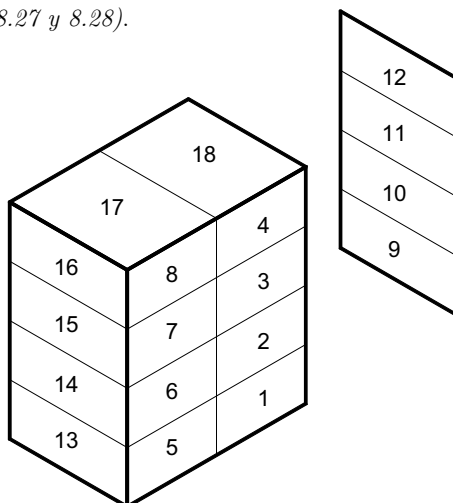


Figura 8.27: Distribución de los 18 barridos de intensidad acústica en la superficie de medida

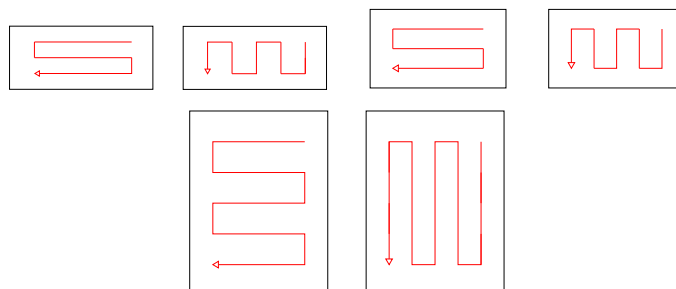


Figura 8.28: Trayectoria, dirección y densidad de líneas de los barridos horizontales y verticales para los segmentos frontales, laterales y superiores

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

Una vez definidos los elementos de superficie, las trayectorias, las direcciones y las densidades de líneas, se comienza con la realización de los barridos. Para este primer caso de 18 barridos, se definió un tiempo total de medida de 40 segundos, de los cuales 20 segundos se empleaban en el barrido horizontal y los otros 20 en el vertical. Además, para estas medidas al igual que se hizo en las de puntos discretos, se utilizó un único espaciador de 12 mm para todas las frecuencias de estudio ($125\text{ Hz} - 10\text{ kHz}$), al considerar dichos resultados como válidos, incluidos los valores a altas frecuencias, a raíz de las conclusiones obtenidas en estudios sobre este tema [49].

Así, se obtienen los niveles de presión e intensidad para las frecuencias de 125 a 10000 Hz . Las *Tablas 8.33 y 8.35* muestran estos niveles y las *Tablas 8.34 y 8.36* muestran los niveles de potencia acústica obtenidos a partir de las medidas de intensidad y presión respectivamente.

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| Hz | L11 (dB) | L12 (dB) | L13 (dB) | L14 (dB) | L15 (dB) | L16 (dB) | L17 (dB) | L18 (dB) | L19 (dB) | L110 (dB) | L111 (dB) | L112 (dB) | L113 (dB) | L114 (dB) | L115 (dB) | L116 (dB) | L117 (dB) | L118 (dB) |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 125 | 51.7 | 55.1 | 55.3 | 52.4 | 52.0 | 56.2 | 54.4 | 52.8 | 49.3 | 56.6 | 54.3 | 55.5 | 50.2 | 46.3 | 49.2 | 56.3 | 57.4 | 60.6 |
| 160 | 61.7 | 63.4 | 63.2 | 60.3 | 62.0 | 63.0 | 61.8 | 58.1 | 62.7 | 66.0 | 61.5 | 54.9 | 54.0 | 55.6 | 54.0 | 56.5 | 59.7 | 63.4 |
| 200 | 67.0 | 67.2 | 69.8 | 68.5 | 65.6 | 68.1 | 69.5 | 68.0 | 65.4 | 67.4 | 67.1 | 63.7 | 56.4 | 57.6 | 56.8 | 61.6 | 64.6 | 67.9 |
| 250 | 65.2 | 62.5 | 62.5 | 62.5 | 68.0 | 67.3 | 65.2 | 62.8 | 68.6 | 68.1 | 57.4 | 42.3 | 50.9 | 51.5 | 50.4 | 56.1 | 65.0 | 64.6 |
| 315 | 66.2 | 60.7 | 61.8 | 57.2 | 65.0 | 62.6 | 61.7 | 58.6 | 63.9 | 62.4 | 55.7 | 52.6 | 50.0 | 50.2 | 47.3 | 51.1 | 58.4 | 59.4 |
| 400 | 61.4 | 63.2 | 67.0 | 63.2 | 64.5 | 66.0 | 65.2 | 63.9 | 62.5 | 66.9 | 66.2 | 57.5 | 51.5 | 47.2 | 49.2 | 57.5 | 65.1 | 65.1 |
| 500 | 59.3 | 58.5 | 60.9 | 58.2 | 62.6 | 62.8 | 61.6 | 60.0 | 61.4 | 62.3 | 59.4 | 56.7 | 47.9 | 43.0 | 44.8 | 50.9 | 61.4 | 59.2 |
| 630 | 62.1 | 63.1 | 64.0 | 60.4 | 69.0 | 70.5 | 67.4 | 66.1 | 67.3 | 70.4 | 66.4 | 64.4 | 48.9 | 50.2 | 44.5 | 51.7 | 66.2 | 61.4 |
| 800 | 57.3 | 59.3 | 61.4 | 57.5 | 60.4 | 61.5 | 61.3 | 58.7 | 58.6 | 60.7 | 58.3 | 56.8 | 47.0 | 44.6 | 37.7 | 48.3 | 60.0 | 57.7 |
| 1000 | 57.6 | 59.0 | 59.2 | 55.6 | 60.5 | 61.7 | 60.0 | 57.1 | 61.8 | 62.2 | 58.9 | 53.0 | 43.5 | 40.8 | 38.6 | 44.8 | 57.0 | 55.8 |
| 1250 | 55.7 | 56.6 | 57.1 | 52.8 | 59.0 | 59.5 | 57.5 | 53.5 | 59.0 | 60.3 | 57.3 | 54.1 | 40.0 | 38.2 | 35.7 | 42.7 | 54.5 | 52.5 |
| 1600 | 54.1 | 53.8 | 56.9 | 51.8 | 55.0 | 55.8 | 55.1 | 51.3 | 56.9 | 57.0 | 54.7 | 50.8 | 40.7 | 36.7 | 32.7 | 40.7 | 51.9 | 50.8 |
| 2000 | 51.9 | 54.4 | 57.8 | 51.8 | 53.4 | 56.3 | 56.5 | 51.7 | 54.0 | 56.0 | 55.9 | 51.3 | 38.9 | 34.8 | 31.7 | 39.8 | 51.6 | 51.3 |
| 2500 | 51.7 | 56.6 | 58.6 | 53.0 | 53.4 | 57.8 | 57.9 | 53.1 | 53.9 | 56.7 | 56.2 | 51.5 | 38.6 | 37.0 | 32.6 | 41.8 | 51.1 | 50.5 |
| 3150 | 50.1 | 55.1 | 56.9 | 52.4 | 51.3 | 56.0 | 56.0 | 51.5 | 52.3 | 54.9 | 54.2 | 50.4 | 35.8 | 34.4 | 30.4 | 39.5 | 49.6 | 49.6 |
| 4000 | 48.5 | 53.9 | 56.0 | 50.6 | 49.5 | 54.5 | 54.9 | 50.0 | 50.3 | 53.8 | 53.9 | 48.4 | 32.5 | 33.5 | 29.4 | 38.5 | 47.5 | 47.5 |
| 5000 | 47.0 | 52.6 | 54.6 | 49.7 | 47.9 | 53.3 | 53.9 | 48.9 | 46.8 | 51.9 | 52.1 | 46.5 | 27.7 | 31.7 | 27.7 | 37.7 | 46.6 | 46.6 |
| 6300 | 47.0 | 51.2 | 53.5 | 47.6 | 47.8 | 52.3 | 52.8 | 47.4 | 46.4 | 50.5 | 50.5 | 43.6 | 26.0 | 30.7 | 27.0 | 34.7 | 44.7 | 45.0 |
| 8000 | 45.7 | 49.1 | 51.3 | 45.6 | 46.0 | 50.2 | 50.8 | 45.3 | 45.3 | 48.4 | 48.4 | 41.6 | 23.8 | 28.0 | 25.0 | 32.8 | 42.1 | 42.8 |
| 10000 | 41.9 | 46.8 | 48.3 | 42.8 | 42.1 | 47.5 | 48.0 | 42.5 | 42.3 | 45.9 | 45.8 | 39.1 | 19.8 | 24.5 | 22.4 | 29.4 | 38.9 | 39.4 |
| L | 73.1 | 72.9 | 74.8 | 72.2 | 75.0 | 76.0 | 75.0 | 72.9 | 74.5 | 76.2 | 73.3 | 69.3 | 61.5 | 61.7 | 60.6 | 65.9 | 72.9 | 73.1 |

Tabla 8.33: Niveles de intensidad acústica en los 18 barridos de medida

| | LW1 | LW2 | LW3 | LW4 | LW5 | LW6 | LW7 | LW8 | LW9 | LW10 | LW11 | LW12 | LW13 | LW14 | LW15 | LW16 | LW17 | LW18 | LWT |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Hz | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 1.53 | 1.53 | 15.47 |
| | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) |
| 125 | 49.9 | 53.3 | 53.5 | 50.7 | 50.3 | 54.5 | 52.6 | 51.0 | 48.8 | 56.0 | 53.7 | 54.9 | 49.6 | 45.8 | 48.7 | 55.8 | 59.3 | 62.4 | 67.4 |
| 160 | 60.0 | 61.7 | 61.5 | 58.6 | 60.2 | 61.3 | 60.1 | 56.4 | 62.1 | 65.4 | 61.0 | 54.4 | 53.4 | 55.1 | 53.5 | 56.0 | 61.5 | 65.3 | 73.2 |
| 200 | 65.3 | 65.4 | 68.1 | 66.8 | 63.8 | 66.4 | 67.8 | 66.2 | 64.9 | 66.8 | 66.6 | 63.1 | 55.8 | 57.1 | 56.3 | 61.1 | 66.5 | 69.8 | 78.2 |
| 250 | 63.5 | 60.7 | 60.7 | 60.8 | 66.2 | 65.6 | 63.5 | 61.0 | 68.1 | 67.5 | 56.9 | -41.7 | 50.3 | 51.0 | 49.8 | 55.6 | 66.8 | 66.5 | 76.0 |
| 315 | 64.5 | 59.0 | 60.1 | 55.5 | 63.3 | 60.9 | 59.9 | 56.9 | 63.4 | 61.9 | 55.1 | 52.1 | 49.5 | 49.6 | 46.8 | 50.5 | 60.3 | 61.3 | 72.2 |
| 400 | 59.7 | 61.4 | 65.2 | 61.5 | 62.8 | 64.3 | 63.4 | 62.1 | 62.0 | 66.4 | 65.6 | 57.0 | 50.9 | 46.6 | 48.7 | 57.0 | 67.0 | 66.9 | 75.6 |
| 500 | 57.6 | 56.8 | 59.1 | 56.5 | 60.9 | 61.0 | 59.9 | 58.2 | 60.9 | 61.7 | 58.8 | 56.1 | 47.3 | 42.5 | 44.3 | 50.4 | 63.3 | 61.0 | 71.4 |
| 630 | 60.3 | 61.4 | 62.3 | 58.6 | 67.3 | 68.8 | 65.7 | 64.3 | 66.7 | 69.9 | 65.9 | 63.8 | 48.4 | 49.7 | 44.0 | 51.2 | 68.0 | 63.2 | 77.3 |
| 800 | 55.6 | 57.6 | 59.6 | 55.7 | 58.7 | 59.7 | 59.6 | 56.9 | 58.1 | 60.1 | 57.7 | 56.3 | 46.4 | 44.0 | 37.2 | 47.8 | 61.9 | 59.6 | 70.2 |
| 1000 | 55.9 | 57.3 | 57.4 | 53.9 | 58.7 | 60.0 | 58.2 | 55.4 | 61.2 | 61.6 | 58.4 | 52.4 | 43.0 | 40.2 | 38.1 | 44.3 | 58.9 | 57.7 | 69.8 |
| 1250 | 54.0 | 54.8 | 55.4 | 51.0 | 57.2 | 57.8 | 55.7 | 51.7 | 58.5 | 59.8 | 56.7 | 53.6 | 39.5 | 37.7 | 35.2 | 42.1 | 56.4 | 54.4 | 67.6 |
| 1600 | 52.3 | 52.1 | 55.1 | 50.1 | 53.2 | 54.0 | 53.3 | 49.6 | 56.4 | 56.5 | 54.2 | 50.2 | 40.2 | 36.2 | 32.2 | 40.2 | 53.8 | 52.7 | 65.1 |
| 2000 | 50.2 | 52.7 | 56.1 | 50.1 | 51.7 | 54.6 | 54.7 | 50.0 | 53.5 | 55.4 | 55.4 | 50.8 | 38.3 | 34.3 | 31.1 | 39.3 | 53.4 | 53.1 | 64.9 |
| 2500 | 50.0 | 54.9 | 56.9 | 51.2 | 51.7 | 56.0 | 56.2 | 51.3 | 53.4 | 56.1 | 55.6 | 51.0 | 38.0 | 36.5 | 32.0 | 41.3 | 52.9 | 52.3 | 65.6 |
| 3150 | 48.3 | 53.3 | 55.2 | 50.7 | 49.6 | 54.2 | 54.3 | 49.8 | 51.8 | 54.3 | 53.6 | 49.9 | 35.2 | 33.9 | 29.9 | 39.0 | 51.5 | 51.4 | 64.0 |
| 4000 | 46.8 | 52.2 | 54.3 | 48.9 | 47.7 | 52.7 | 53.1 | 48.3 | 49.7 | 53.2 | 53.4 | 47.9 | 32.0 | 32.9 | 28.8 | 38.0 | 49.3 | 49.4 | 62.6 |
| 5000 | 45.3 | 50.9 | 52.9 | 48.0 | 46.1 | 51.5 | 52.1 | 47.2 | 46.2 | 51.3 | 51.6 | 45.9 | 27.2 | 31.2 | 27.2 | 37.1 | 48.4 | 48.4 | 61.2 |
| 6300 | 45.2 | 49.4 | 51.7 | 45.8 | 46.0 | 50.6 | 51.0 | 45.7 | 45.9 | 50.0 | 49.9 | 43.1 | 25.5 | 30.1 | 26.4 | 34.1 | 46.6 | 46.9 | 59.9 |
| 8000 | 43.9 | 47.4 | 49.6 | 43.8 | 44.2 | 48.4 | 49.0 | 43.5 | 44.8 | 47.9 | 47.9 | 41.0 | 23.2 | 27.4 | 24.5 | 32.2 | 44.0 | 44.7 | 57.9 |
| 10000 | 40.1 | 45.0 | 46.5 | 41.1 | 40.4 | 45.8 | 46.3 | 40.8 | 41.8 | 45.3 | 45.3 | 38.6 | 19.2 | 23.9 | 21.8 | 28.9 | 40.7 | 41.3 | 55.0 |
| L | 71.3 | 71.2 | 73.1 | 70.5 | 73.2 | 74.3 | 73.2 | 71.2 | 73.9 | 75.7 | 72.7 | 68.8 | 60.9 | 61.2 | 60.0 | 65.3 | 74.8 | 75.0 | 84.7 |

Tabla 8.34: Áreas de los elementos de superficie asociados a los 18 barridos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de intensidad y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz

| Hz | Lp1 (dB) | Lp2 (dB) | Lp3 (dB) | Lp4 (dB) | Lp5 (dB) | Lp6 (dB) | Lp7 (dB) | Lp8 (dB) | Lp9 (dB) | Lp10 (dB) | Lp11 (dB) | Lp12 (dB) | Lp13 (dB) | Lp14 (dB) | Lp15 (dB) | Lp16 (dB) | Lp17 (dB) | Lp18 (dB) |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 125 | 56.6 | 60.0 | 58.4 | 56.1 | 59.8 | 59.7 | 57.1 | 56.2 | 58.3 | 59.4 | 56.5 | 59.0 | 52.9 | 51.7 | 54.5 | 57.9 | 61.8 | 64.1 |
| 160 | 65.1 | 67.8 | 65.2 | 63.9 | 65.7 | 66.3 | 63.9 | 61.1 | 66.2 | 68.2 | 63.9 | 62.7 | 57.3 | 57.6 | 58.0 | 58.7 | 63.2 | 67.0 |
| 200 | 69.8 | 69.7 | 70.6 | 70.5 | 67.6 | 69.1 | 70.5 | 70.0 | 67.8 | 68.6 | 67.6 | 66.5 | 59.9 | 61.1 | 60.4 | 63.3 | 67.0 | 70.6 |
| 250 | 67.3 | 65.0 | 65.0 | 65.9 | 69.9 | 70.3 | 68.4 | 67.6 | 71.1 | 71.7 | 68.7 | 67.0 | 55.2 | 55.9 | 55.7 | 58.2 | 65.4 | 65.9 |
| 315 | 68.1 | 64.4 | 63.8 | 61.3 | 66.7 | 65.3 | 64.4 | 61.9 | 66.3 | 66.9 | 64.9 | 60.4 | 54.8 | 54.7 | 53.8 | 54.6 | 59.9 | 61.2 |
| 400 | 65.5 | 66.9 | 68.4 | 65.8 | 67.2 | 68.4 | 66.9 | 67.1 | 66.6 | 68.9 | 67.1 | 63.6 | 55.2 | 54.4 | 54.1 | 58.8 | 66.8 | 67.4 |
| 500 | 61.9 | 62.6 | 63.3 | 61.3 | 64.5 | 64.9 | 64.3 | 63.7 | 66.2 | 66.3 | 64.8 | 63.2 | 51.9 | 50.8 | 50.5 | 52.9 | 62.8 | 61.3 |
| 630 | 64.3 | 67.2 | 66.4 | 63.4 | 70.3 | 71.9 | 70.7 | 69.9 | 69.7 | 72.2 | 70.6 | 69.1 | 53.2 | 54.5 | 50.2 | 54.0 | 66.9 | 63.5 |
| 800 | 60.9 | 62.3 | 63.4 | 60.6 | 63.6 | 64.1 | 63.8 | 62.4 | 64.3 | 64.6 | 63.6 | 62.2 | 50.8 | 49.2 | 47.3 | 51.2 | 61.7 | 59.4 |
| 1000 | 60.2 | 62.1 | 62.3 | 60.1 | 63.0 | 64.6 | 63.2 | 61.0 | 64.4 | 64.8 | 62.6 | 59.3 | 47.4 | 46.0 | 44.5 | 47.1 | 58.5 | 56.8 |
| 1250 | 59.0 | 59.8 | 59.7 | 56.8 | 61.6 | 62.0 | 60.2 | 57.4 | 62.5 | 62.9 | 60.8 | 58.9 | 44.5 | 43.7 | 42.4 | 45.2 | 56.3 | 53.8 |
| 1600 | 56.8 | 56.6 | 58.1 | 54.8 | 57.4 | 58.1 | 57.2 | 54.7 | 59.6 | 59.4 | 57.5 | 55.2 | 44.5 | 42.9 | 41.1 | 43.2 | 53.7 | 52.1 |
| 2000 | 55.1 | 56.5 | 58.6 | 54.3 | 56.2 | 58.0 | 57.7 | 54.6 | 56.8 | 57.7 | 57.2 | 54.6 | 42.6 | 40.6 | 39.2 | 42.4 | 53.2 | 52.4 |
| 2500 | 55.2 | 58.5 | 59.6 | 54.9 | 56.5 | 59.6 | 59.3 | 55.5 | 56.7 | 58.4 | 57.6 | 54.4 | 42.6 | 41.9 | 39.9 | 44.2 | 53.2 | 52.3 |
| 3150 | 53.5 | 57.2 | 58.2 | 54.4 | 54.5 | 57.9 | 57.6 | 54.0 | 55.3 | 56.9 | 55.9 | 53.3 | 40.2 | 39.6 | 38.1 | 42.3 | 51.9 | 51.4 |
| 4000 | 52.2 | 55.8 | 56.8 | 52.8 | 52.8 | 56.1 | 56.1 | 52.4 | 53.6 | 55.7 | 55.1 | 52.1 | 37.7 | 38.4 | 37.1 | 41.4 | 50.0 | 49.5 |
| 5000 | 50.7 | 54.7 | 55.8 | 51.8 | 51.4 | 55.3 | 55.5 | 51.4 | 52.8 | 54.6 | 54.2 | 50.6 | 34.5 | 36.5 | 34.6 | 40.3 | 49.5 | 49.1 |
| 6300 | 50.0 | 53.3 | 54.5 | 50.2 | 51.0 | 54.2 | 54.2 | 50.2 | 52.2 | 53.4 | 52.4 | 48.6 | 33.2 | 35.0 | 33.1 | 37.9 | 47.3 | 47.0 |
| 8000 | 48.1 | 51.0 | 52.0 | 47.7 | 48.8 | 52.0 | 52.0 | 47.8 | 48.8 | 50.6 | 49.9 | 46.2 | 31.2 | 32.6 | 31.3 | 36.0 | 44.8 | 44.7 |
| 10000 | 44.6 | 47.9 | 48.1 | 44.6 | 45.2 | 48.8 | 48.7 | 44.7 | 45.4 | 47.2 | 46.3 | 43.1 | 28.7 | 29.8 | 28.8 | 33.0 | 41.1 | 40.6 |
| L | 75.8 | 76.2 | 76.4 | 74.9 | 77.1 | 78.1 | 77.2 | 76.2 | 77.5 | 78.7 | 76.7 | 74.9 | 65.2 | 65.6 | 65.1 | 67.7 | 74.5 | 75.6 |

Tabla 8.35: Niveles de presión acústica en los 18 barridos de medida

| | LW1 | LW2 | LW3 | LW4 | LW5 | LW6 | LW7 | LW8 | LW9 | LW10 | LW11 | LW12 | LW13 | LW14 | LW15 | LW16 | LW17 | LW18 | LWT |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Hz | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 1.53 | 1.53 | 15.47 |
| | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) |
| 125 | 54.8 | 58.3 | 56.6 | 54.3 | 58.0 | 57.9 | 55.4 | 54.4 | 57.8 | 58.9 | 56.0 | 58.5 | 52.3 | 51.1 | 54.0 | 57.3 | 63.6 | 66.0 | 71.3 |
| 160 | 63.3 | 66.1 | 63.5 | 62.1 | 64.0 | 64.5 | 62.2 | 59.4 | 65.6 | 67.6 | 63.3 | 62.2 | 56.7 | 57.1 | 57.5 | 58.1 | 65.0 | 68.9 | 76.5 |
| 200 | 68.1 | 68.0 | 68.9 | 68.8 | 65.9 | 67.4 | 68.8 | 68.3 | 67.2 | 68.1 | 67.0 | 65.9 | 59.3 | 60.6 | 59.9 | 62.7 | 68.8 | 72.4 | 80.1 |
| 250 | 65.6 | 63.3 | 63.3 | 64.1 | 68.1 | 68.5 | 66.6 | 65.9 | 70.6 | 71.1 | 68.1 | 66.4 | 54.7 | 55.3 | 55.1 | 57.6 | 67.3 | 67.8 | 79.1 |
| 315 | 66.4 | 62.7 | 62.0 | 59.5 | 64.9 | 63.5 | 62.7 | 60.2 | 65.7 | 66.4 | 64.3 | 59.8 | 54.3 | 54.1 | 53.3 | 54.0 | 61.8 | 63.1 | 75.2 |
| 400 | 63.8 | 65.2 | 66.7 | 64.1 | 65.4 | 66.6 | 65.2 | 65.4 | 66.1 | 68.4 | 66.6 | 63.0 | 54.7 | 53.8 | 53.5 | 58.3 | 68.7 | 69.3 | 78.0 |
| 500 | 60.1 | 60.9 | 61.6 | 59.6 | 62.8 | 63.2 | 62.6 | 62.0 | 65.6 | 65.8 | 64.3 | 62.6 | 51.4 | 50.3 | 49.9 | 52.3 | 64.7 | 63.1 | 74.7 |
| 630 | 62.5 | 65.5 | 64.6 | 61.7 | 68.5 | 70.2 | 68.9 | 68.2 | 69.1 | 71.6 | 70.1 | 68.6 | 52.6 | 54.0 | 49.6 | 53.4 | 68.8 | 65.4 | 79.7 |
| 800 | 59.2 | 60.6 | 61.7 | 58.8 | 61.8 | 62.4 | 62.1 | 60.6 | 63.7 | 64.1 | 63.1 | 61.7 | 50.2 | 48.6 | 46.7 | 50.7 | 63.5 | 61.2 | 73.5 |
| 1000 | 58.5 | 60.4 | 60.5 | 58.4 | 61.2 | 62.8 | 61.5 | 59.3 | 63.9 | 64.3 | 62.0 | 58.7 | 46.9 | 45.5 | 44.0 | 46.5 | 60.4 | 58.7 | 72.7 |
| 1250 | 57.3 | 58.1 | 58.0 | 55.1 | 59.9 | 60.2 | 58.5 | 55.7 | 62.0 | 62.4 | 60.3 | 58.3 | 43.9 | 43.2 | 41.9 | 44.6 | 58.2 | 55.7 | 70.6 |
| 1600 | 55.1 | 54.9 | 56.4 | 53.0 | 55.6 | 56.3 | 55.5 | 52.9 | 59.1 | 58.8 | 56.9 | 54.7 | 44.0 | 42.4 | 40.6 | 42.7 | 55.6 | 54.0 | 67.5 |
| 2000 | 53.4 | 54.7 | 56.9 | 52.5 | 54.5 | 56.3 | 56.0 | 52.8 | 56.2 | 57.2 | 56.6 | 54.1 | 42.0 | 40.0 | 38.6 | 41.8 | 55.1 | 54.3 | 66.8 |
| 2500 | 53.4 | 56.8 | 57.9 | 53.1 | 54.8 | 57.8 | 57.6 | 53.8 | 56.2 | 57.8 | 57.0 | 53.9 | 42.1 | 41.3 | 39.4 | 43.7 | 55.0 | 54.1 | 67.5 |
| 3150 | 51.7 | 55.4 | 56.5 | 52.6 | 52.7 | 56.1 | 55.9 | 52.2 | 54.8 | 56.3 | 55.3 | 52.8 | 39.6 | 39.0 | 37.5 | 41.7 | 53.8 | 53.2 | 66.0 |
| 4000 | 50.5 | 54.0 | 55.1 | 51.1 | 51.1 | 54.3 | 54.3 | 50.7 | 53.0 | 55.1 | 54.6 | 51.6 | 37.2 | 37.8 | 36.5 | 40.9 | 51.9 | 51.4 | 64.6 |
| 5000 | 48.9 | 52.9 | 54.1 | 50.0 | 49.6 | 53.6 | 53.7 | 49.7 | 52.3 | 54.1 | 53.6 | 50.1 | 34.0 | 35.9 | 34.1 | 39.8 | 51.3 | 51.0 | 63.6 |
| 6300 | 48.2 | 51.6 | 52.8 | 48.5 | 49.3 | 52.5 | 52.5 | 48.5 | 51.7 | 52.8 | 51.9 | 48.1 | 32.6 | 34.5 | 32.6 | 37.4 | 49.2 | 48.8 | 62.3 |
| 8000 | 46.4 | 49.2 | 50.2 | 46.0 | 47.0 | 50.3 | 50.3 | 46.1 | 48.3 | 50.0 | 49.3 | 45.7 | 30.6 | 32.1 | 30.7 | 35.5 | 46.7 | 46.6 | 59.8 |
| 10000 | 42.8 | 46.1 | 46.4 | 42.8 | 43.4 | 47.1 | 46.9 | 42.9 | 44.9 | 46.7 | 45.8 | 42.6 | 28.2 | 29.3 | 28.3 | 32.5 | 43.0 | 42.4 | 56.4 |
| L | 74.0 | 74.5 | 74.7 | 73.2 | 75.4 | 76.3 | 75.5 | 74.5 | 76.9 | 78.2 | 76.2 | 74.3 | 64.7 | 65.0 | 64.6 | 67.2 | 76.4 | 77.4 | 87.3 |

Tabla 8.36: Áreas de los elementos de superficie asociados a los 18 barridos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de presión y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz

Seguidamente, en las Figuras 8.29 y 8.30 se muestra un comparación de los niveles de potencia acústica obtenidos mediante intensidad y presión. Para este caso también se verifica que los niveles obtenidos por presión son mayores que los obtenidos por intensidad tanto por frecuencias como en valores globales.

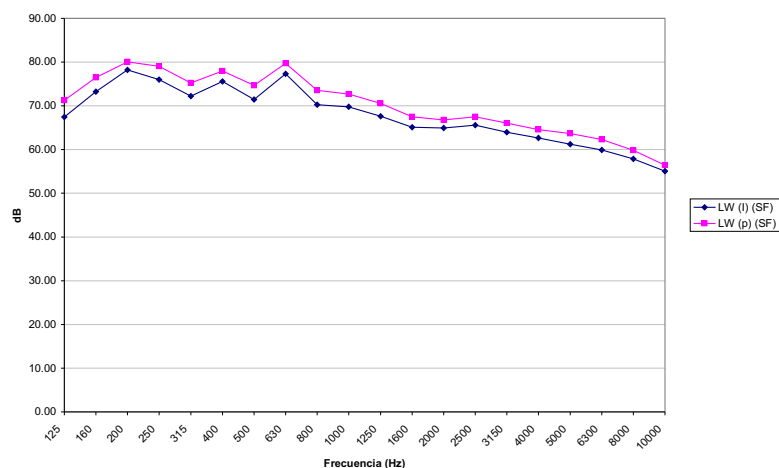


Figura 8.29: Niveles de potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad en los 18 barridos de medida

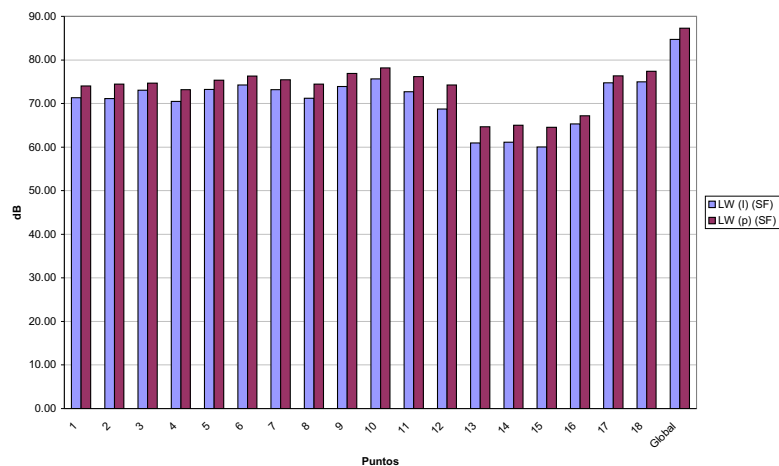


Figura 8.30: Niveles de potencia acústica en los 18 barridos y valor global calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

Llegados a este punto, en este caso de medición por barridos, también se comprueba que el índice de capacidad dinámica, L_d , es mayor que el indicador de presión-intensidad en la superficie, F_{pI} , que el indicador de potencia parcial negativa $F_{+/-}$ no supera los 3 dB (Figura 8.31 y Tabla 8.37) y, con la ayuda de los indicadores de repetitividad que muestra el sonómetro en pantalla, que se verifica la ecuación (3.38) para asegurar la repetitividad de la potencia parcial tal como indica la norma ISO 9614-2.

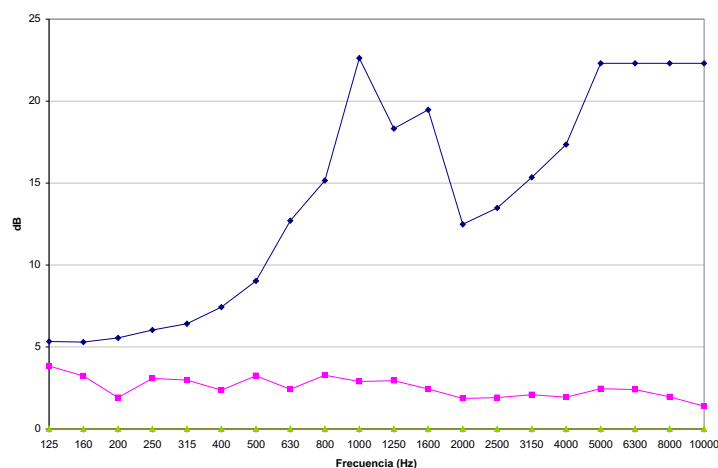


Figura 8.31: Índice de capacidad dinámica, L_d , indicador de presión-intensidad en la superficie, F_{pI} , e indicador de potencia parcial negativa $F_{+/-}$ para los 18 barridos

| Hz | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| L_d | 5.33 | 5.31 | 5.55 | 6.04 | 6.42 | 7.43 | 9.03 | 12.71 | 15.16 | 22.62 |
| F_{pI} | 3.84 | 3.23 | 1.90 | 3.08 | 2.98 | 2.38 | 3.24 | 2.41 | 3.29 | 2.90 |
| $F_{+/-}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| Hz | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| L_d | 18.33 | 19.47 | 12.49 | 13.48 | 15.35 | 17.36 | 22.31 | 22.31 | 22.31 | 22.31 |
| F_{pI} | 2.95 | 2.44 | 1.86 | 1.91 | 2.08 | 1.94 | 2.45 | 2.41 | 1.95 | 1.38 |
| $F_{+/-}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 8.37: Valores numéricos del Índice de capacidad dinámica, L_d , del indicador de Presión-Intensidad en la superficie, F_{pI} , y del indicador de potencia parcial negativa, $F_{+/-}$ para las frecuencias de 125 a 10000 Hz, obtenidos con la sonda de intensidad y el espaciador de 12 mm, para el caso de los 18 barridos

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

Una vez acabado el procedimiento que indica la *Fig. B.1* de la norma ISO 9614-2 (*Figura 3.5*), todavía quedaría evaluar el efecto de la absorción acústica en la superficie de medida. Como ya hemos visto, por las características especiales de nuestro caso de estudio, esta comprobación no se puede realizar siguiendo las directrices de la norma, con lo que se continua con el método complementario planteado.

Así, el siguiente paso a seguir es el de incorporar la segunda fuente omnidireccional externa a la superficie de medida y de potencia acústica conocida. Una vez situada la fuente externa, se realizan nuevamente los 18 barridos de medición con la sonda de intensidad sobre la superficie de medida. La *Tabla 8.38* muestra los resultados obtenidos con estas medidas y la *Tabla 8.39* proporciona los niveles de potencia acústica calculados a partir de ellas.

| Hz | L11 (dB) | L12 (dB) | L13 (dB) | L14 (dB) | L15 (dB) | L16 (dB) | L17 (dB) | L18 (dB) | L19 (dB) | L110 (dB) | L111 (dB) | L112 (dB) | L113 (dB) | L114 (dB) | L115 (dB) | L116 (dB) | L117 (dB) | L118 (dB) |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 125 | 66.5(-) | 65.7(-) | 63.1(-) | 59.4(-) | 64.8(-) | 64.2(-) | 61.8(-) | 57.0(-) | 58.7(-) | 57.2(-) | 55.9 | 63.0 | 64.9 | 64.8 | 63.5 | 64.5 | 66.5 | 66.9 |
| 160 | 71.6(-) | 69.0(-) | 62.4(-) | 57.0(-) | 70.6(-) | 69.2(-) | 63.0(-) | 58.8(-) | 64.2(-) | 60.1(-) | 43.5(-) | 59.6 | 69.9 | 69.4 | 66.5 | 62.9 | 61.1 | 63.5 |
| 200 | 73.8(-) | 65.6(-) | 70.7 | 69.2 | 72.2(-) | 65.6(-) | 70.6 | 67.9 | 63.7(-) | 59.3(-) | 50.8 | 63.9 | 72.0 | 71.9 | 70.3 | 67.0 | 65.5 | 68.4 |
| 250 | 73.7(-) | 68.2(-) | 54.1(-) | 68.1(-) | 71.5(-) | 60.7(-) | 61.7 | 67.1(-) | 64.4(-) | 60.7(-) | 54.1(-) | 57.8(-) | 69.2 | 68.2 | 60.5 | 62.3 | 64.2 | 65.7 |
| 315 | 70.2(-) | 62.2(-) | 64.1(-) | 71.5(-) | 68.5(-) | 46.8(-) | 59.9(-) | 70.6(-) | 54.4(-) | 34.8 | 51.0 | 60.4(-) | 68.4 | 66.2 | 62.9 | 66.3 | 65.6 | 67.3 |
| 400 | 67.2(-) | 65.4 | 65.3 | 68.7(-) | 63.6(-) | 66.0 | 51.1 | 67.7(-) | 55.6 | 45.2 | 55.3 | 40.4(-) | 67.9 | 68.5 | 69.5 | 67.3 | 69.5 | 67.3 |
| 500 | 66.3(-) | 58.0(-) | 66.5(-) | 64.9(-) | 62.7(-) | 61.9 | 65.4(-) | 63.9(-) | 44.7(-) | 48.3(-) | 54.3 | 53.3(-) | 66.0 | 63.2 | 65.1 | 63.9 | 62.9 | 58.5 |
| 630 | 45.4(-) | 59.6 | 48.2(-) | 56.1 | 68.5 | 72.5 | 66.8 | 67.5 | 36.5 | 48.8(-) | 50.4 | 47.3 | 68.2 | 70.7 | 67.5 | 64.4 | 65.6 | 61.8 |
| 800 | 53.9(-) | 56.8(-) | 56.4 | 62.8(-) | 56.8 | 55.2(-) | 57.9 | 62.3(-) | 40.1 | 50.1(-) | 38.8 | 53.2(-) | 60.6 | 62.7 | 61.2 | 61.6 | 61.3 | 59.7 |
| 1000 | 45.6 | 45.2(-) | 57.6(-) | 59.8(-) | 54.6 | 55.0 | 58.0(-) | 59.0(-) | 41.1 | 45.7 | 42.0(-) | 48.2(-) | 62.1 | 63.8 | 60.9 | 59.0 | 58.5 | 58.5 |
| 1250 | 48.9(-) | 51.8(-) | 55.7(-) | 59.9(-) | 56.4 | 54.3 | 52.0(-) | 59.5(-) | 47.2 | 49.1 | 46.0 | 48.5(-) | 59.4 | 61.0 | 58.8 | 57.8 | 57.0 | 55.3 |
| 1600 | 46.9(-) | 52.3(-) | 55.5(-) | 61.0(-) | 53.1 | 43.2 | 54.1(-) | 57.9(-) | 40.3 | 50.8 | 48.4 | 53.8(-) | 56.9 | 58.2 | 57.2 | 56.0 | 56.0 | 54.6 |
| 2000 | 52.3(-) | 53.6(-) | 58.1(-) | 61.3(-) | 54.5(-) | 55.1(-) | 57.7(-) | 59.5(-) | 41.1(-) | 42.5 | 29.9(-) | 55.4(-) | 57.9 | 58.3 | 59.3 | 58.1 | 56.5 | 54.9 |
| 2500 | 44.4 | 53.8 | 57.7 | 50.2(-) | 47.5(-) | 48.7 | 53.6 | 51.3(-) | 38.3 | 29.3 | 36.1(-) | 47.7(-) | 55.6 | 57.5 | 57.9 | 55.5 | 53.4 | 51.9 |
| 3150 | 47.9 | 54.6 | 56.5 | 47.6 | 47.0 | 52.4 | 54.4 | 36.8 | 36.2 | 29.2(-) | 36.7(-) | 42.4(-) | 53.3 | 55.2 | 55.2 | 52.7 | 51.0 | 50.2 |
| 4000 | 46.8 | 53.8 | 56.0 | 47.4 | 47.4 | 51.8 | 53.8 | 45.0 | 32.9 | 18.2 | 31.7(-) | 29.0(-) | 50.4 | 53.1 | 54.3 | 50.1 | 48.4 | 47.9 |
| 5000 | 46.1 | 53.5 | 55.1 | 37.5 | 47.2 | 51.2 | 53.9 | 45.8 | 27.8 | 26.7 | 27.2(-) | 36.0(-) | 48.1 | 51.7 | 52.9 | 48.5 | 47.8 | 46.8 |
| 6300 | 38.1 | 52.5 | 52.9 | 50.1(-) | 44.4 | 50.0 | 50.3 | 48.1(-) | 25.3 | 31.1 | 25.8(-) | 39.0(-) | 48.4 | 50.9 | 51.9 | 47.1 | 48.1 | 46.4 |
| 8000 | 28.4 | 50.6 | 52.5 | 45.9(-) | 43.6 | 48.6 | 50.0 | 47.9(-) | 30.7 | 34.1 | 33.0 | 32.8(-) | 46.7 | 49.7 | 51.1 | 47.5 | 45.9 | 44.7 |
| 10000 | 36.6 | 48.1 | 49.2 | 41.0(-) | 38.7 | 46.5 | 48.8 | 36.5(-) | 31.4 | 34.7 | 32.7 | 33.8(-) | 43.0 | 47.3 | 48.3 | 44.4 | 43.0 | 42.5 |
| L | 79.4(-) | 72.9(-) | 66.8 | 74.8(-) | 76.8(-) | 69.3 | 70.1 | 72.9(-) | 69.2(-) | 65.5(-) | 60.7 | 63.9 | 78.2 | 78.3 | 76.5 | 74.9 | 75.3 | 75.3 |

Tabla 8.38: Niveles de intensidad acústica en los 18 barridos de medida con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida

| Hz | LW1 | LW2 | LW3 | LW4 | LW5 | LW6 | LW7 | LW8 | LW9 | LW10 | LW11 | LW12 | LW13 | LW14 | LW15 | LW16 | LW17 | LW18 | LWT |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 1.53 | 1.53 | 15.47 |
| | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) | (m ²) |
| 125 | 64.7(-) | 64.0(-) | 61.3(-) | 57.7(-) | 63.1(-) | 62.4(-) | 60.1(-) | 55.3(-) | 58.2(-) | 56.7(-) | 55.4 | 62.4 | 64.4 | 64.3 | 62.9 | 64.0 | 68.3 | 68.8 | 71.0 |
| 160 | 69.8(-) | 67.3(-) | 60.6(-) | 55.3(-) | 68.9(-) | 67.4(-) | 61.2(-) | 57.1(-) | 63.7(-) | 59.6(-) | 43.0(-) | 59.0 | 69.3 | 68.9 | 66.0 | 62.3 | 62.9 | 65.4 | 68.3 |
| 200 | 72.0(-) | 63.9(-) | 69.0 | 67.5 | 70.5(-) | 63.8(-) | 68.9 | 66.2 | 63.2(-) | 58.8(-) | 50.3 | 63.4 | 71.4 | 71.3 | 69.8 | 66.4 | 67.3 | 70.2 | 77.0 |
| 250 | 72.0(-) | 66.5(-) | 52.4(-) | 66.3(-) | 69.8(-) | 59.0(-) | 60.0 | 65.3(-) | 63.9(-) | 60.2(-) | 53.6(-) | 57.2(-) | 68.6 | 67.6 | 59.9 | 61.8 | 66.1 | 67.6 | 72.1 |
| 315 | 68.4(-) | 60.4(-) | 62.4(-) | 69.8(-) | 66.7(-) | 45.0(-) | 58.2(-) | 68.8(-) | 53.9(-) | 34.2 | 50.5 | 59.8(-) | 67.9 | 65.7 | 62.3 | 65.7 | 67.5 | 69.2 | 66.3 |
| 400 | 65.4(-) | 63.7 | 63.6 | 67.0(-) | 61.9(-) | 64.3 | 49.4 | 66.0(-) | 55.0 | 44.7 | 54.8 | 39.8(-) | 67.3 | 68.0 | 68.9 | 66.7 | 71.4 | 69.2 | 76.0 |
| 500 | 64.6(-) | 56.3(-) | 64.8(-) | 63.2(-) | 60.9(-) | 60.2 | 63.7(-) | 62.2(-) | 44.2(-) | 47.8(-) | 53.8 | 52.8(-) | 65.4 | 62.6 | 64.5 | 63.3 | 64.8 | 60.3 | 62.5 |
| 630 | 43.7(-) | 57.9 | 46.5(-) | 54.4 | 66.7 | 70.8 | 65.0 | 65.8 | 35.9 | 48.3(-) | 49.9 | 46.8 | 67.7 | 70.1 | 67.0 | 63.9 | 67.5 | 63.6 | 77.5 |
| 800 | 52.1(-) | 55.0(-) | 54.6 | 61.1(-) | 55.0 | 53.5(-) | 56.1 | 60.6(-) | 39.5 | 49.6(-) | 38.3 | 52.6(-) | 60.0 | 62.2 | 60.7 | 61.0 | 63.2 | 61.5 | 67.9 |
| 1000 | 43.9 | 43.4(-) | 55.8(-) | 58.0(-) | 52.8 | 53.2 | 56.3(-) | 57.3(-) | 40.5 | 45.2 | 41.5(-) | 47.7(-) | 61.6 | 63.3 | 60.3 | 58.5 | 60.3 | 60.4 | 67.7 |
| 1250 | 47.2(-) | 50.1(-) | 53.9(-) | 58.2(-) | 54.7 | 52.5 | 50.3(-) | 57.7(-) | 46.6 | 48.5 | 45.4 | 48.0(-) | 58.8 | 60.5 | 58.2 | 57.3 | 58.8 | 57.2 | 65.0 |
| 1600 | 45.1(-) | 50.6(-) | 53.7(-) | 59.3(-) | 51.4 | 41.5 | 52.3(-) | 56.2(-) | 39.8 | 50.3 | 47.9 | 53.3(-) | 56.3 | 57.6 | 56.7 | 55.5 | 57.8 | 56.5 | 60.7 |
| 2000 | 50.5(-) | 51.8(-) | 56.4(-) | 59.6(-) | 52.7(-) | 53.4(-) | 55.9(-) | 57.7(-) | 40.5(-) | 42.0 | 29.4(-) | 54.8(-) | 57.4 | 57.8 | 58.7 | 57.5 | 58.3 | 56.7 | 55.0 |
| 2500 | 42.7 | 52.1 | 56.0 | 48.4(-) | 45.7(-) | 47.0 | 51.8 | 49.6(-) | 37.8 | 28.7 | 35.5(-) | 47.1(-) | 55.0 | 56.9 | 57.4 | 55.0 | 55.3 | 53.8 | 64.4 |
| 3150 | 46.1 | 52.8 | 54.8 | 45.9 | 45.3 | 50.6 | 52.7 | 35.1 | 35.7 | 28.6(-) | 36.2(-) | 41.8(-) | 52.8 | 54.6 | 54.7 | 52.2 | 52.8 | 52.1 | 63.4 |
| 4000 | 45.1 | 52.0 | 54.3 | 45.7 | 45.7 | 50.1 | 52.1 | 43.3 | 32.3 | 17.6 | 31.2(-) | 28.4(-) | 49.8 | 52.6 | 53.7 | 49.6 | 50.2 | 49.7 | 62.1 |
| 5000 | 44.4 | 51.8 | 53.4 | 35.8 | 45.4 | 49.5 | 52.2 | 44.1 | 27.2 | 26.2 | 26.7(-) | 35.4(-) | 47.6 | 51.2 | 52.4 | 47.9 | 49.6 | 48.6 | 61.1 |
| 6300 | 36.4 | 50.8 | 51.2 | 48.3(-) | 42.7 | 48.3 | 48.5 | 46.4(-) | 24.7 | 30.5 | 25.3(-) | 38.5(-) | 47.8 | 50.3 | 51.3 | 46.6 | 50.0 | 48.3 | 59.1 |
| 8000 | 26.6 | 48.8 | 50.8 | 44.1(-) | 41.8 | 46.9 | 48.3 | 46.1(-) | 30.1 | 33.5 | 32.5 | 32.2(-) | 46.2 | 49.1 | 50.5 | 46.9 | 47.8 | 46.6 | 58.2 |
| 10000 | 34.8 | 46.4 | 47.5 | 39.2(-) | 37.0 | 44.8 | 47.1 | 34.7(-) | 30.8 | 34.2 | 32.1 | 33.2(-) | 42.5 | 46.7 | 47.8 | 43.9 | 44.9 | 44.4 | 55.9 |
| L | 77.6(-) | 71.2(-) | 65.0 | 73.1(-) | 75.1(-) | 67.6 | 68.3 | 71.1(-) | 68.7(-) | 64.9(-) | 60.1 | 63.4 | 77.7 | 77.7 | 75.9 | 74.4 | 77.2 | 77.2 | 83.3 |

Tabla 8.39: Áreas de los elementos de superficie asociados a los 18 barridos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de intensidad y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida

Seguidamente, las Figuras 8.32 y 8.33 muestran los niveles de potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz y los valores globales para los distintos barridos respectivamente, calculados a partir de las medidas de intensidad realizadas con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida.

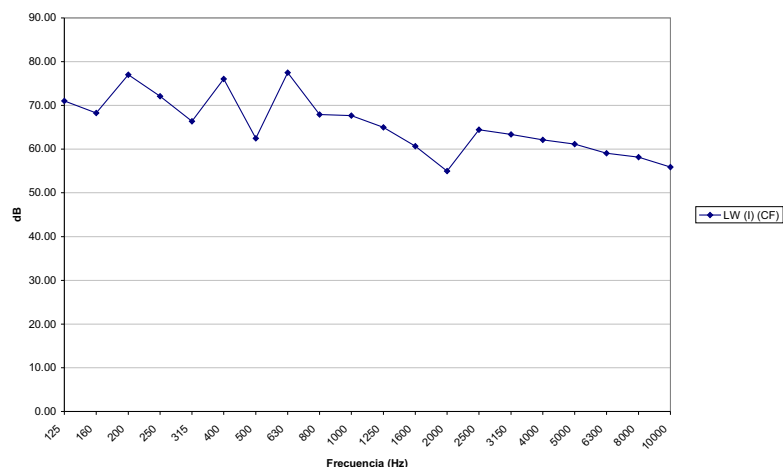


Figura 8.32: Niveles de potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz calculados a partir de las medidas de intensidad realizadas con la sonda de intensidad en los 18 barridos de medida con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida

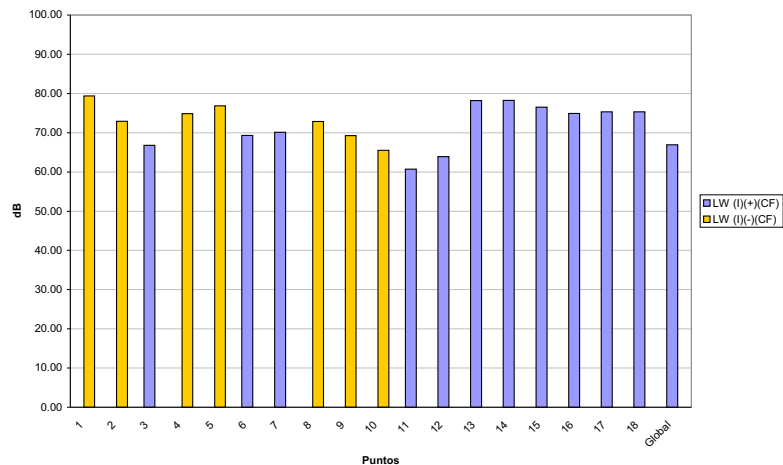


Figura 8.33: Niveles de potencia acústica en los 18 barridos y valor global calculados a partir de las medidas de intensidad realizadas con la sonda de intensidad con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

Una vez conocidos $WI_{(CF)}$ y $WI_{(SF)}$ de las medidas de los 18 barridos, se obtienen los coeficientes de absorción de los paneles absorbentes para las frecuencias de 125 a 10000 Hz utilizando la ecuación (8.8). La *Tabla 8.40* muestra los resultados obtenidos junto con los niveles de potencia utilizados y la *Figura 8.34* muestra su representación.

| Frecuencia (Hz) | $LWI_{(SF)}$ (dB) | $LWI_{(CF)}$ (dB) | LWI_d (dB) | LWI_r (dB) | α |
|--------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|----------|
| 125 | 67.4 | 71.0 | 72.5 | 73.6 | -0.08 |
| 160 | 73.2 | 68.3 | 78.2 | 79.4 | 0.55 |
| 200 | 78.2 | 77.0 | 81.6 | 82.7 | 0.31 |
| 250 | 76.0 | 72.1 | 79.8 | 80.9 | 0.68 |
| 315 | 72.2 | 66.3 | 78.6 | 79.7 | 0.45 |
| 400 | 75.6 | 76.0 | 77.0 | 78.1 | 0.17 |
| 500 | 71.4 | 62.4 | 75.0 | 76.1 | 0.52 |
| 630 | 77.3 | 77.5 | 71.9 | 73.0 | 0.11 |
| 800 | 70.2 | 67.9 | 71.1 | 72.2 | 0.49 |
| 1000 | 69.8 | 67.7 | 70.8 | 71.9 | 0.46 |
| 1250 | 67.6 | 65.0 | 68.7 | 69.8 | 0.50 |
| 1600 | 65.1 | 60.7 | 70.1 | 71.2 | 0.38 |
| 2000 | 64.9 | 55.0 | 70.0 | 71.2 | 0.44 |
| 2500 | 65.6 | 64.4 | 63.6 | 64.7 | 0.52 |
| 3150 | 64.0 | 63.4 | 59.8 | 60.9 | 0.48 |
| 4000 | 62.6 | 62.1 | 56.3 | 57.4 | 0.62 |
| 5000 | 61.2 | 61.1 | 58.9 | 60.1 | 0.25 |
| 6300 | 59.9 | 59.1 | 60.2 | 61.3 | 0.35 |
| 8000 | 57.9 | 58.2 | 62.4 | 63.6 | 0.21 |
| 10000 | 55.0 | 55.9 | 56.1 | 57.2 | 0.10 |
| L | 84.7 | 83.3 | 87.4 | 88.6 | |

Tabla 8.40: Coeficientes de absorción de los paneles absorbentes y los niveles de potencia utilizados en su cálculo para las frecuencias 125-10000 Hz. Medición por barrido - 18 barridos

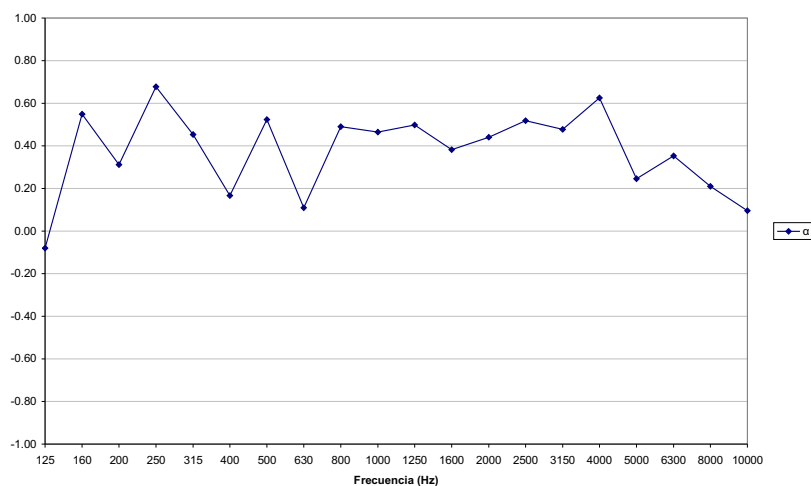


Figura 8.34: Coeficientes de absorción α de los paneles absorbentes para las frecuencias 125-10000 Hz obtenidos por medio de los 18 barridos de intensidad

Observando los resultados obtenidos de los coeficientes de absorción para las diferentes frecuencias, se puede apreciar como se tienen unos valores más exactos y coherentes que en el caso de las medidas en puntos discretos, porque al realizar las medidas por barrido se ha caracterizado de una manera más precisa los segmentos de la superficie de medida.

Una vez obtenido α se calculan los valores de W_{amb} y W para las frecuencias de 125 a 10000 Hz. La Tabla 8.41 muestra los diferente niveles de potencia calculados.

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| Frecuencia (Hz) | $LWI_{(SF)}$ (dB) | $LWp_{(SF)}$ (dB) | $LWI_{(CF)}$ (dB) | LWI_d (dB) | LWI_r (dB) | α | LW_{amb} (dB) | LW (dB) |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|----------|--------------------|-------------------|
| 125 | 67.4 | 70.6 | 71.0 | 72.5 | 73.6 | -0.08 | 62.4 | 67.4 |
| 160 | 73.2 | 76.4 | 68.3 | 78.2 | 79.4 | 0.55 | 67.9 | 73.6 |
| 200 | 78.2 | 80.2 | 77.0 | 81.6 | 82.7 | 0.31 | 66.0 | 78.2 |
| 250 | 76.0 | 79.2 | 72.1 | 79.8 | 80.9 | 0.68 | 70.7 | 76.4 |
| 315 | 72.2 | 75.6 | 66.3 | 78.6 | 79.7 | 0.45 | 67.4 | 72.6 |
| 400 | 75.6 | 78.0 | 76.0 | 77.0 | 78.1 | 0.17 | 66.8 | 75.6 |
| 500 | 71.4 | 74.8 | 62.4 | 75.0 | 76.1 | 0.52 | 66.6 | 71.8 |
| 630 | 77.3 | 80.0 | 77.5 | 71.9 | 73.0 | 0.11 | 70.1 | 77.3 |
| 800 | 70.2 | 73.7 | 67.9 | 71.1 | 72.2 | 0.49 | 65.8 | 70.6 |
| 1000 | 69.8 | 73.0 | 67.7 | 70.8 | 71.9 | 0.46 | 64.6 | 70.1 |
| 1250 | 67.6 | 70.9 | 65.0 | 68.7 | 69.8 | 0.50 | 62.5 | 67.9 |
| 1600 | 65.1 | 67.8 | 60.7 | 70.1 | 71.2 | 0.38 | 58.0 | 65.2 |
| 2000 | 64.9 | 67.1 | 55.0 | 70.0 | 71.2 | 0.44 | 54.6 | 65.0 |
| 2500 | 65.6 | 68.0 | 64.4 | 63.6 | 64.7 | 0.52 | 56.4 | 65.7 |
| 3150 | 64.0 | 66.5 | 63.4 | 59.8 | 60.9 | 0.48 | 55.7 | 64.1 |
| 4000 | 62.6 | 65.0 | 62.1 | 56.3 | 57.4 | 0.62 | 53.4 | 62.8 |
| 5000 | 61.2 | 64.1 | 61.1 | 58.9 | 60.1 | 0.25 | 54.7 | 61.3 |
| 6300 | 59.9 | 62.8 | 59.1 | 60.2 | 61.3 | 0.35 | 53.4 | 60.1 |
| 8000 | 57.9 | 60.3 | 58.2 | 62.4 | 63.6 | 0.21 | 49.3 | 57.9 |
| 10000 | 55.0 | 56.9 | 55.9 | 56.1 | 57.2 | 0.10 | 40.9 | 55.0 |
| L | 84.7 | 87.5 | 83.3 | 87.4 | 88.6 | | 77.8 | 84.9 |

Tabla 8.41: Niveles de potencia acústica de la fuente sonora bajo ensayo y los niveles de potencias utilizados en su cálculo para las frecuencias 125-10000 Hz. Medición por barrido - 18 barridos

Finalmente, se realiza la comparación de los niveles de potencia acústica de la fuente bajo ensayo obtenidos por el método planteado con los 18 barridos y por medio de las medidas de intensidad sin la fuente omnidireccional (*Figura 8.35*).

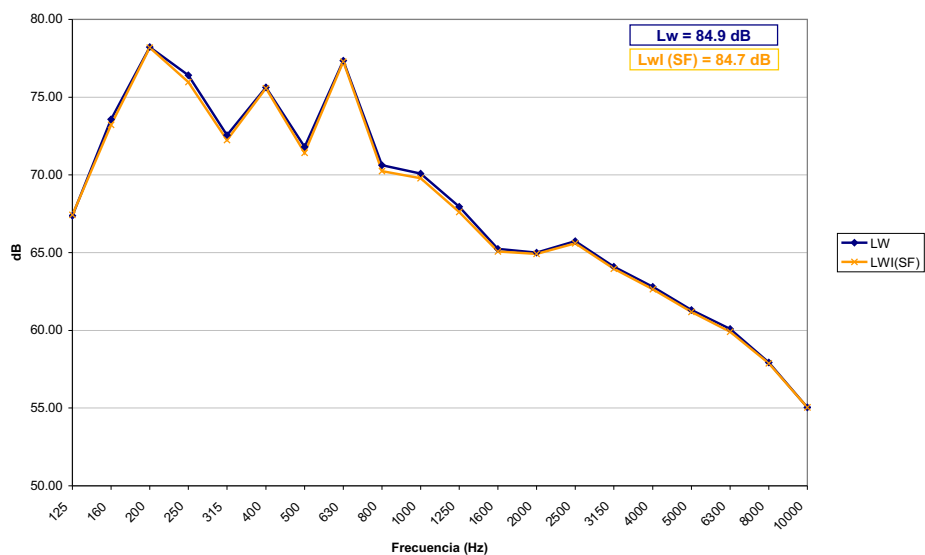


Figura 8.35: Comparación niveles de potencia acústica de la fuente bajo ensayo obtenidos por el método planteado con los 18 barridos y por medio de las medidas de intensidad sin la fuente omnidireccional

Al igual que para el caso de los puntos discretos, nuevamente se puede comprobar como los niveles de potencia obtenidos con las medidas de intensidad acústica sin la presencia de la fuente externa omnidireccional son menores que los niveles de potencia obtenidos con el método alternativo planteado. Como ya se comentó anteriormente, esta diferencia se debe a la presencia de aislamiento dentro de nuestra definición de fuente sonora y a la existencia de ruido ambiental que afecta a dichas medidas.

8.9.2. Medidas de intensidad realizando 10 Barridos

En la segunda opción de medidas de intensidad por barridos, se realizan 10 mediciones por la superficie de medida paralelepípeda de dimensiones $2,16 \cdot 1,42 \cdot 2,48 \text{ m}$, obteniendo así las intensidades y presiones para las frecuencias de 125 a 10000 Hz en los 10 elementos de superficie definidos (Figuras 8.36 y 8.37).

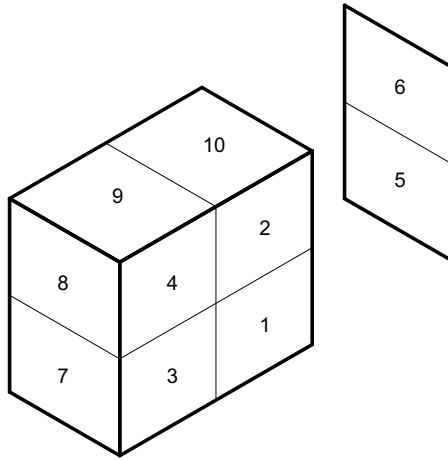


Figura 8.36: Distribución de los 10 barridos de intensidad acústica en la superficie de medida

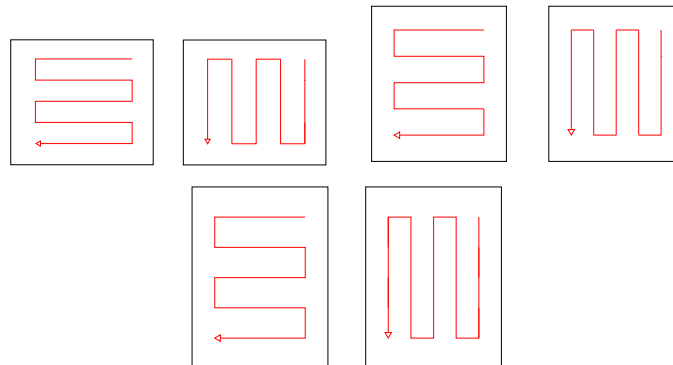


Figura 8.37: Trayectoria, dirección y densidad de líneas de los barridos horizontales y verticales para los segmentos frontales, laterales y superiores

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

Al igual que para el caso de los 18 barridos, se definen los elementos de superficie, las trayectorias, las direcciones y las densidades de líneas, para comenzar con la realización de los barridos. Por otro lado, para esta implementación con 10 barridos, se considera un tiempo de medida mayor que para el primer caso, ya que el área de los elementos de superficie también es mayor.

De esta forma, se emplean 30 segundos tanto en el barrido horizontal como en el vertical, quedando un tiempo total de medida de 60 segundos. Además, como ya se ha comentado anteriormente en los apartados de las medidas de intensidad por puntos discretos y por 18 barridos, para este caso también se considera que utilizando un único espaciador de 12 *mm* para todas las frecuencias de estudio ($125\text{Hz} - 10\text{kHz}$), se va a obtener unos resultados válidos, según publican diversos autores en estudios realizados [49].

De este modo, se obtienen los niveles de presión e intensidad para las frecuencias de 125 a 10000 *Hz*. Las *Tablas 8.42 y 8.44* muestran estos niveles y las *Tablas 8.43 y 8.45* muestran los niveles de potencia acústica obtenidos a partir de las medidas de intensidad y presión respectivamente.

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| Hz | LI1 (dB) | LI2 (dB) | LI3 (dB) | LI4 (dB) | LI5 (dB) | LI6 (dB) | LI7 (dB) | LI8 (dB) | LI9 (dB) | LI10 (dB) |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 125 | 54.1 | 54.4 | 54.6 | 54.4 | 55.7 | 56.0 | 47.4 | 55.1 | 58.1 | 60.5 |
| 160 | 62.2 | 61.9 | 62.9 | 60.5 | 64.0 | 60.6 | 54.0 | 55.3 | 60.7 | 62.1 |
| 200 | 66.6 | 68.8 | 66.3 | 68.0 | 67.8 | 66.4 | 57.0 | 60.2 | 65.4 | 67.2 |
| 250 | 62.3 | 62.8 | 66.0 | 63.6 | 66.4 | 56.9 | 51.1 | 55.0 | 65.0 | 63.8 |
| 315 | 65.4 | 60.7 | 64.5 | 60.4 | 63.2 | 55.9 | 49.9 | 50.5 | 58.4 | 59.1 |
| 400 | 63.7 | 64.9 | 64.8 | 64.5 | 66.4 | 64.4 | 48.4 | 55.6 | 65.4 | 65.0 |
| 500 | 60.2 | 59.9 | 62.8 | 60.8 | 62.3 | 58.7 | 44.8 | 49.6 | 61.2 | 59.2 |
| 630 | 62.7 | 63.1 | 69.4 | 66.6 | 68.7 | 65.5 | 46.7 | 50.3 | 65.2 | 61.5 |
| 800 | 59.7 | 59.8 | 60.8 | 60.2 | 60.5 | 58.4 | 45.1 | 46.7 | 59.8 | 58.2 |
| 1000 | 58.7 | 57.9 | 60.9 | 58.2 | 61.8 | 57.7 | 41.2 | 43.7 | 56.6 | 56.1 |
| 1250 | 57.1 | 55.8 | 59.3 | 56.1 | 59.7 | 56.7 | 38.5 | 41.3 | 54.4 | 52.2 |
| 1600 | 54.6 | 55.1 | 54.8 | 53.9 | 56.5 | 54.1 | 37.5 | 39.3 | 51.9 | 51.0 |
| 2000 | 54.2 | 55.9 | 55.1 | 55.3 | 55.7 | 55.0 | 36.4 | 38.5 | 51.7 | 51.6 |
| 2500 | 55.7 | 57.1 | 56.0 | 56.4 | 56.3 | 55.4 | 36.9 | 40.4 | 51.2 | 50.9 |
| 3150 | 54.4 | 55.6 | 54.1 | 54.3 | 54.8 | 53.4 | 33.7 | 38.0 | 49.8 | 49.7 |
| 4000 | 53.2 | 54.5 | 52.4 | 53.2 | 53.8 | 52.8 | 31.4 | 37.1 | 47.6 | 47.7 |
| 5000 | 51.7 | 53.4 | 51.2 | 52.0 | 51.9 | 51.1 | 28.4 | 36.3 | 46.4 | 46.7 |
| 6300 | 50.5 | 51.7 | 50.3 | 50.7 | 50.6 | 49.4 | 27.2 | 33.4 | 44.6 | 45.0 |
| 8000 | 48.4 | 49.7 | 48.1 | 48.7 | 48.2 | 47.1 | 24.6 | 31.8 | 42.5 | 42.9 |
| 10000 | 45.8 | 47.1 | 45.5 | 46.0 | 45.6 | 44.5 | 21.6 | 28.3 | 39.0 | 39.5 |
| L | 73.2 | 73.6 | 75.0 | 73.7 | 75.4 | 72.4 | 61.0 | 64.5 | 72.9 | 72.7 |

Tabla 8.42: Niveles de intensidad acústica en los 10 barridos de medida

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| Hz | LW1 (dB) | LW2 (dB) | LW3 (dB) | LW4 (dB) | LW5 (dB) | LW6 (dB) | LW7 (dB) | LW8 (dB) | LW9 (dB) | LW10 (dB) | LWT (dB) |
|-------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | 1.34 (m ²) | 1.34 (m ²) | 1.34 (m ²) | 1.34 (m ²) | 1.76 (m ²) | 1.76 (m ²) | 1.76 (m ²) | 1.76 (m ²) | 1.53 (m ²) | 1.53 (m ²) | 15.47 (m ²) |
| 125 | 55.4 | 55.7 | 55.9 | 55.7 | 58.2 | 58.4 | 49.8 | 57.6 | 60.0 | 62.4 | 67.9 |
| 160 | 63.4 | 63.2 | 64.2 | 61.7 | 66.4 | 63.1 | 56.5 | 57.8 | 62.5 | 64.0 | 73.0 |
| 200 | 67.8 | 70.1 | 67.5 | 69.3 | 70.2 | 68.9 | 59.5 | 62.7 | 67.2 | 69.1 | 78.1 |
| 250 | 63.6 | 64.0 | 67.3 | 64.8 | 68.9 | 59.3 | 53.5 | 57.5 | 66.9 | 65.6 | 74.9 |
| 315 | 66.7 | 62.0 | 65.8 | 61.6 | 65.7 | 58.4 | 52.4 | 53.0 | 60.2 | 60.9 | 72.7 |
| 400 | 64.9 | 66.2 | 66.0 | 65.7 | 68.9 | 66.9 | 50.9 | 58.0 | 67.2 | 66.8 | 75.8 |
| 500 | 61.5 | 61.2 | 64.1 | 62.1 | 64.8 | 61.2 | 47.3 | 52.0 | 63.0 | 61.0 | 71.7 |
| 630 | 64.0 | 64.4 | 70.6 | 67.9 | 71.1 | 67.9 | 49.1 | 52.8 | 67.0 | 63.4 | 77.0 |
| 800 | 60.9 | 61.1 | 62.1 | 61.4 | 63.0 | 60.8 | 47.5 | 49.2 | 61.7 | 60.0 | 70.5 |
| 1000 | 60.0 | 59.2 | 62.2 | 59.5 | 64.3 | 60.2 | 43.6 | 46.1 | 58.5 | 58.0 | 69.8 |
| 1250 | 58.4 | 57.0 | 60.6 | 57.4 | 62.2 | 59.1 | 40.9 | 43.8 | 56.3 | 54.0 | 67.8 |
| 1600 | 55.9 | 56.4 | 56.1 | 55.2 | 59.0 | 56.6 | 40.0 | 41.7 | 53.7 | 52.8 | 65.1 |
| 2000 | 55.4 | 57.1 | 56.4 | 56.5 | 58.2 | 57.5 | 38.8 | 41.0 | 53.6 | 53.5 | 65.4 |
| 2500 | 57.0 | 58.4 | 57.2 | 57.7 | 58.8 | 57.8 | 39.4 | 42.9 | 53.1 | 52.8 | 66.1 |
| 3150 | 55.7 | 56.9 | 55.4 | 55.6 | 57.3 | 55.9 | 36.2 | 40.4 | 51.7 | 51.6 | 64.5 |
| 4000 | 54.4 | 55.8 | 53.6 | 54.4 | 56.2 | 55.3 | 33.9 | 39.6 | 49.5 | 49.6 | 63.2 |
| 5000 | 53.0 | 54.7 | 52.4 | 53.3 | 54.4 | 53.5 | 30.8 | 38.7 | 48.3 | 48.5 | 61.9 |
| 6300 | 51.7 | 53.0 | 51.5 | 52.0 | 53.1 | 51.8 | 29.7 | 35.9 | 46.4 | 46.9 | 60.4 |
| 8000 | 49.7 | 51.0 | 49.4 | 50.0 | 50.7 | 49.6 | 27.0 | 34.2 | 44.3 | 44.8 | 58.3 |
| 10000 | 47.0 | 48.3 | 46.8 | 47.2 | 48.0 | 46.9 | 24.1 | 30.8 | 40.9 | 41.3 | 55.5 |
| L | 74.5 | 74.9 | 76.3 | 75.0 | 77.8 | 74.8 | 63.4 | 67.0 | 74.8 | 74.5 | 84.6 |

Tabla 8.43: Áreas de los elementos de superficie asociados a los 10 barridos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de intensidad y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| Hz | Lp1 (dB) | Lp2 (dB) | Lp3 (dB) | Lp4 (dB) | Lp5 (dB) | LP6 (dB) | Lp7 (dB) | Lp8 (dB) | Lp9 (dB) | Lp10 (dB) |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 125 | 58.3 | 58.1 | 57.8 | 57.7 | 59.4 | 58.5 | 54.4 | 56.9 | 62.6 | 64.1 |
| 160 | 65.5 | 64.0 | 65.6 | 62.7 | 67.2 | 63.8 | 56.9 | 57.3 | 64.1 | 65.5 |
| 200 | 69.1 | 70.0 | 67.7 | 69.6 | 69.1 | 67.5 | 60.5 | 62.3 | 67.9 | 69.7 |
| 250 | 64.7 | 65.1 | 68.4 | 67.6 | 70.6 | 67.8 | 55.9 | 57.4 | 65.7 | 65.3 |
| 315 | 67.3 | 63.1 | 66.5 | 63.5 | 67.6 | 63.6 | 54.2 | 54.0 | 60.2 | 61.2 |
| 400 | 66.6 | 66.7 | 67.2 | 67.0 | 68.4 | 66.2 | 54.0 | 57.0 | 67.1 | 66.8 |
| 500 | 63.0 | 62.4 | 64.9 | 64.1 | 66.0 | 63.9 | 51.4 | 52.0 | 62.6 | 61.1 |
| 630 | 65.9 | 65.4 | 70.7 | 70.2 | 70.8 | 69.2 | 54.1 | 53.4 | 66.1 | 63.7 |
| 800 | 62.8 | 62.1 | 63.7 | 63.4 | 64.7 | 62.9 | 50.4 | 50.1 | 61.4 | 59.5 |
| 1000 | 61.7 | 61.1 | 63.6 | 62.1 | 64.5 | 61.6 | 46.6 | 46.3 | 58.1 | 57.3 |
| 1250 | 60.2 | 58.5 | 61.8 | 59.4 | 62.7 | 60.1 | 44.0 | 44.4 | 56.2 | 53.5 |
| 1600 | 57.0 | 56.8 | 57.3 | 56.4 | 59.1 | 56.9 | 43.0 | 43.0 | 53.5 | 52.2 |
| 2000 | 56.3 | 57.1 | 57.3 | 57.1 | 57.7 | 56.6 | 41.6 | 42.0 | 53.2 | 52.8 |
| 2500 | 57.7 | 58.3 | 58.1 | 58.3 | 58.3 | 57.0 | 42.2 | 43.1 | 53.3 | 52.7 |
| 3150 | 56.5 | 57.0 | 56.3 | 56.4 | 56.9 | 55.3 | 39.5 | 41.2 | 52.0 | 51.5 |
| 4000 | 55.1 | 55.7 | 54.4 | 54.9 | 55.7 | 54.5 | 37.6 | 40.2 | 50.1 | 50.1 |
| 5000 | 53.9 | 54.9 | 53.5 | 54.1 | 54.8 | 53.4 | 35.2 | 39.0 | 49.2 | 49.2 |
| 6300 | 52.5 | 53.0 | 52.4 | 52.5 | 52.9 | 51.4 | 33.9 | 36.8 | 47.1 | 46.9 |
| 8000 | 50.2 | 50.6 | 50.2 | 50.6 | 50.6 | 49.1 | 31.7 | 35.1 | 44.9 | 44.7 |
| 10000 | 46.9 | 47.2 | 47.2 | 47.5 | 47.1 | 45.6 | 29.1 | 32.0 | 41.1 | 40.6 |
| L | 75.9 | 75.5 | 77.0 | 76.6 | 78.2 | 75.9 | 65.4 | 66.7 | 74.8 | 74.9 |

Tabla 8.44: Niveles de presión acústica en los 10 barridos de medida

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| Hz | LW1 (dB) | LW2 (dB) | LW3 (dB) | LW4 (dB) | LW5 (dB) | LW6 (dB) | LW7 (dB) | LW8 (dB) | LW9 (dB) | LW10 (dB) | LWT (dB) |
|-------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | 1.34 (m ²) | 1.34 (m ²) | 1.34 (m ²) | 1.34 (m ²) | 1.76 (m ²) | 1.76 (m ²) | 1.76 (m ²) | 1.76 (m ²) | 1.53 (m ²) | 1.53 (m ²) | 15.47 (m ²) |
| 125 | 59.5 | 59.4 | 59.0 | 59.0 | 61.8 | 60.9 | 56.9 | 59.4 | 64.5 | 66.0 | 71.5 |
| 160 | 66.7 | 65.2 | 66.9 | 64.0 | 69.6 | 66.3 | 59.4 | 59.8 | 65.9 | 67.4 | 76.0 |
| 200 | 70.4 | 71.2 | 69.0 | 70.8 | 71.6 | 69.9 | 63.0 | 64.8 | 69.8 | 71.6 | 79.9 |
| 250 | 66.0 | 66.4 | 69.6 | 68.9 | 73.1 | 70.3 | 58.3 | 59.9 | 67.5 | 67.1 | 78.4 |
| 315 | 68.6 | 64.3 | 67.8 | 64.8 | 70.1 | 66.1 | 56.6 | 56.4 | 62.1 | 63.1 | 75.8 |
| 400 | 67.8 | 68.0 | 68.5 | 68.3 | 70.9 | 68.7 | 56.5 | 59.4 | 69.0 | 68.6 | 77.9 |
| 500 | 64.3 | 63.6 | 66.2 | 65.4 | 68.5 | 66.3 | 53.9 | 54.5 | 64.5 | 63.0 | 74.7 |
| 630 | 67.2 | 66.7 | 71.9 | 71.4 | 73.3 | 71.6 | 56.6 | 55.9 | 68.0 | 65.6 | 79.3 |
| 800 | 64.0 | 63.3 | 64.9 | 64.7 | 67.2 | 65.4 | 52.9 | 52.6 | 63.3 | 61.3 | 73.7 |
| 1000 | 63.0 | 62.4 | 64.9 | 63.4 | 67.0 | 64.0 | 49.1 | 48.7 | 60.0 | 59.1 | 72.7 |
| 1250 | 61.4 | 59.8 | 63.1 | 60.7 | 65.1 | 62.6 | 46.5 | 46.8 | 58.0 | 55.4 | 70.7 |
| 1600 | 58.3 | 58.1 | 58.5 | 57.7 | 61.6 | 59.4 | 45.4 | 45.5 | 55.4 | 54.1 | 67.5 |
| 2000 | 57.6 | 58.3 | 58.5 | 58.3 | 60.2 | 59.1 | 44.1 | 44.5 | 55.0 | 54.6 | 67.1 |
| 2500 | 59.0 | 59.6 | 59.4 | 59.6 | 60.7 | 59.4 | 44.6 | 45.6 | 55.2 | 54.5 | 67.9 |
| 3150 | 57.8 | 58.3 | 57.6 | 57.6 | 59.4 | 57.7 | 41.9 | 43.7 | 53.8 | 53.4 | 66.4 |
| 4000 | 56.4 | 56.9 | 55.7 | 56.1 | 58.2 | 56.9 | 40.1 | 42.6 | 51.9 | 52.0 | 65.1 |
| 5000 | 55.1 | 56.1 | 54.8 | 55.4 | 57.2 | 55.9 | 37.7 | 41.4 | 51.1 | 51.0 | 64.1 |
| 6300 | 53.7 | 54.2 | 53.7 | 53.8 | 55.3 | 53.8 | 36.4 | 39.3 | 48.9 | 48.8 | 62.4 |
| 8000 | 51.4 | 51.9 | 51.5 | 51.9 | 53.0 | 51.5 | 34.1 | 37.5 | 46.8 | 46.6 | 60.1 |
| 10000 | 48.2 | 48.5 | 48.4 | 48.8 | 49.6 | 48.0 | 31.6 | 34.4 | 43.0 | 42.5 | 56.8 |
| L | 77.1 | 76.7 | 78.3 | 77.8 | 80.6 | 78.4 | 67.8 | 69.2 | 76.6 | 76.8 | 87.2 |

Tabla 8.45: Áreas de los elementos de superficie asociados a los 10 barridos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de presión y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz

A continuación, las Figuras 8.38 y 8.39 muestran una comparación de los niveles de potencia acústica obtenidos mediante intensidad y presión. Nuevamente se verifica que los niveles obtenidos por presión son mayores que los obtenidos por intensidad tanto por frecuencias como en valores globales.

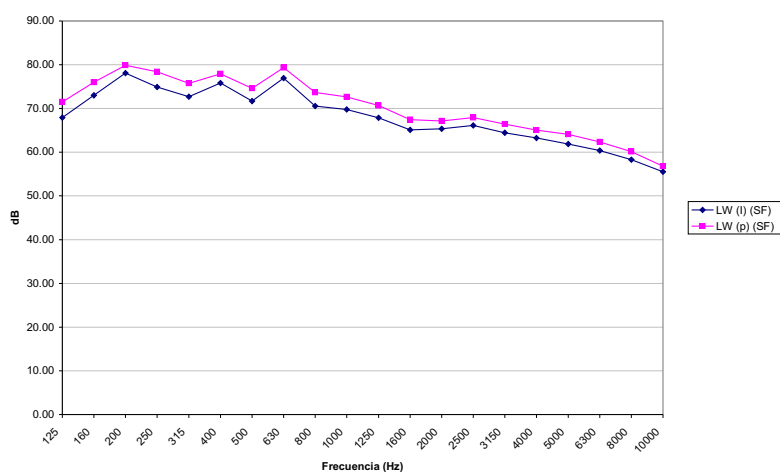


Figura 8.38: Niveles de potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad en los 10 barridos de medida

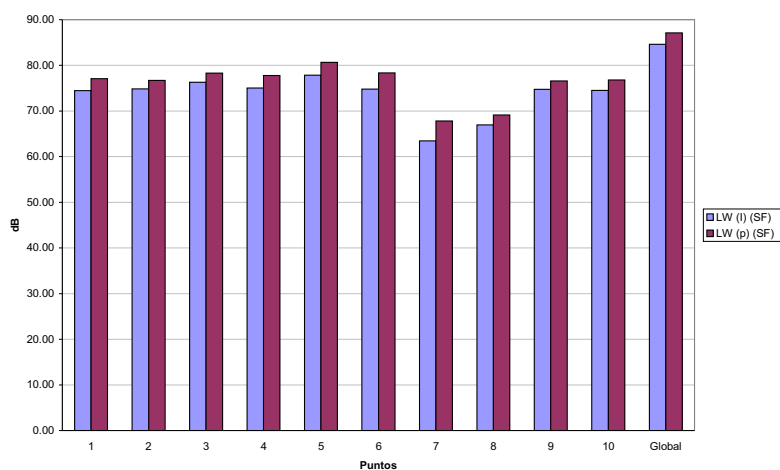


Figura 8.39: Niveles de potencia acústica en los 10 barridos y valor global calculados a partir de las medidas de intensidad y de presión realizadas con la sonda de intensidad

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

Al igual que para el caso de los 18 barridos, siguiendo el procedimiento que indica la *Fig. B.1* de la norma ISO 9614-2 (*Figura 3.5*), se calculan sus distintos índices e indicadores (L_d , F_{pI} y $F_{+/-}$) y se comprueban los tres primeros criterios que indica en su anexo B (*Figura 8.40* y *Tabla 8.46*).

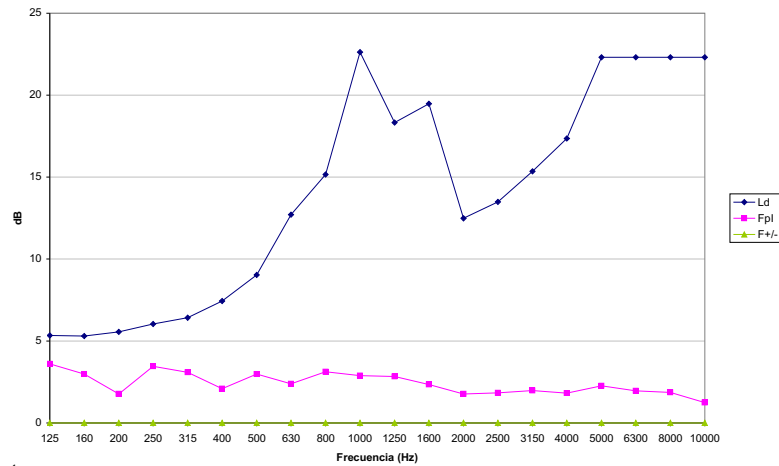


Figura 8.40: Índice de capacidad dinámica, L_d , indicador de presión-intensidad en la superficie, F_{pI} , e indicador de potencia parcial negativa $F_{+/-}$ para los 10 barridos

| Hz | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| L_d | 5.33 | 5.31 | 5.55 | 6.04 | 6.42 | 7.43 | 9.03 | 12.71 | 15.16 | 22.62 |
| F_{pI} | 3.60 | 2.99 | 1.76 | 3.45 | 3.09 | 2.09 | 2.98 | 2.39 | 3.12 | 2.89 |
| $F_{+/-}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| Hz | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| L_d | 18.33 | 19.47 | 12.49 | 13.48 | 15.35 | 17.36 | 22.31 | 22.31 | 22.31 | 22.31 |
| F_{pI} | 2.84 | 2.34 | 1.77 | 1.84 | 1.97 | 1.81 | 2.26 | 1.96 | 1.86 | 1.24 |
| $F_{+/-}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 8.46: Valores numéricos del Índice de capacidad dinámica, L_d , del indicador de Presión-Intensidad en la superficie, F_{pI} , y del indicador de potencia parcial negativa, $F_{+/-}$ para las frecuencias de 125 a 10000 Hz, obtenidos con la sonda de intensidad y el espaciador de 12 mm, para el caso de los 10 barridos

Una vez verificados los criterios anteriores, quedaría realizar la comprobación del efecto de la absorción acústica en la superficie de medida, pero, por las características especiales de la fuente bajo ensayo, no se pueden seguir la directrices marcadas por la norma.

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

Llegados a este punto, se continua con el método complementario planteado. Así, se introduce la segunda fuente de potencia conocida y se realizan nuevamente los 10 barridos. La *Tabla 8.47* muestra los niveles obtenidos de estas medidas y en la *Tabla 8.48* se representan lo niveles de potencia acústica calculados a partir de dichas medidas.

| Hz | LI1 (dB) | LI2 (dB) | LI3 (dB) | LI4 (dB) | LI5 (dB) | LI6 (dB) | LI7 (dB) | LI8 (dB) | LI9 (dB) | LI10 (dB) |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 125 | 66.2(-) | 60.9(-) | 64.6(-) | 59.1(-) | 57.6(-) | 60.0 | 65.4 | 64.5 | 66.6 | 67.9 |
| 160 | 70.2(-) | 56.9(-) | 69.1(-) | 61.3(-) | 62.0(-) | 59.3 | 71.2 | 66.4 | 61.5 | 63.4 |
| 200 | 71.7(-) | 69.3 | 69.9(-) | 68.3 | 60.2(-) | 60.2 | 71.6 | 69.9 | 66.3 | 68.6 |
| 250 | 71.1(-) | 67.1(-) | 68.1(-) | 64.6(-) | 61.7(-) | 54.4(-) | 69.1 | 62.2 | 64.7 | 66.0 |
| 315 | 67.4(-) | 69.8(-) | 64.8(-) | 68.7(-) | 46.1(-) | 51.0(-) | 67.7 | 64.8 | 65.0 | 66.8 |
| 400 | 44.3 | 62.6(-) | 59.8 | 63.3(-) | 55.0 | 57.1 | 68.3 | 68.7 | 68.5 | 68.0 |
| 500 | 63.2(-) | 65.3(-) | 58.1(-) | 64.5(-) | 49.3 | 55.3 | 64.5 | 64.3 | 63.0 | 60.0 |
| 630 | 56.5 | 55.7 | 69.3 | 67.0 | 43.8 | 52.9 | 69.1 | 67.3 | 66.6 | 62.4 |
| 800 | 56.6(-) | 57.7(-) | 44.5 | 57.0(-) | 42.4 | 41.1(-) | 61.8 | 61.7 | 61.4 | 60.1 |
| 1000 | 48.6 | 59.1(-) | 55.9 | 57.8(-) | 48.0 | 35.2 | 62.8 | 60.1 | 57.9 | 58.6 |
| 1250 | 52.1 | 58.9(-) | 55.1 | 57.6(-) | 48.2 | 46.5 | 60.3 | 58.8 | 56.2 | 55.6 |
| 1600 | 44.6(-) | 59.2(-) | 50.7 | 55.8(-) | 45.2 | 46.5 | 57.9 | 56.9 | 54.9 | 55.5 |
| 2000 | 52.2(-) | 60.1(-) | 57.3(-) | 58.6(-) | 34.2(-) | 46.7(-) | 58.6 | 58.8 | 56.0 | 55.3 |
| 2500 | 50.7 | 53.7 | 46.1 | 50.4 | 34.8 | 41.5(-) | 56.9 | 57.1 | 53.3 | 52.2 |
| 3150 | 52.2 | 53.8 | 51.5 | 52.4 | 33.3 | 37.3(-) | 54.7 | 54.7 | 51.2 | 50.3 |
| 4000 | 51.2 | 53.6 | 50.8 | 51.8 | 30.4 | 24.5 | 52.5 | 53.3 | 48.5 | 48.1 |
| 5000 | 50.7 | 52.3 | 50.8 | 52.1 | 24.7 | 31.7 | 50.8 | 52.0 | 47.6 | 47.5 |
| 6300 | 49.6 | 47.0 | 49.7 | 47.6 | 28.8 | 35.7(-) | 50.3 | 50.9 | 47.2 | 45.0 |
| 8000 | 46.3 | 48.0 | 48.2 | 46.8 | 33.2 | 36.0 | 48.8 | 50.1 | 44.7 | 45.6 |
| 10000 | 44.9 | 45.4 | 46.1 | 46.8 | 32.9 | 33.4 | 46.2 | 47.4 | 42.0 | 42.7 |
| L | 76.9(-) | 72.0(-) | 73.1(-) | 68.8(-) | 66.2(-) | 65.5 | 78.5 | 76.3 | 75.3 | 75.7 |

Tabla 8.47: Niveles de intensidad acústica en los 10 barridos de medida con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| Hz | LW1 (dB) | LW2 (dB) | LW3 (dB) | LW4 (dB) | LW5 (dB) | LW6 (dB) | LW7 (dB) | LW8 (dB) | LW9 (dB) | LW10 (dB) | LWT (dB) |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| | 1.34 (m^2) | 1.34 (m^2) | 1.34 (m^2) | 1.34 (m^2) | 1.76 (m^2) | 1.76 (m^2) | 1.76 (m^2) | 1.76 (m^2) | 1.53 (m^2) | 1.53 (m^2) | 15.47 (m^2) |
| 125 | 67.5(-) | 62.1(-) | 65.8(-) | 60.4(-) | 60.0(-) | 62.5 | 67.9 | 66.9 | 68.4 | 69.8 | 72.1 |
| 160 | 71.5(-) | 58.2(-) | 70.4(-) | 62.5(-) | 64.5(-) | 61.7 | 73.7 | 68.8 | 63.4 | 65.2 | 68.9 |
| 200 | 72.9(-) | 70.5 | 71.2(-) | 69.6 | 62.7(-) | 62.7 | 74.0 | 72.4 | 68.2 | 70.5 | 76.8 |
| 250 | 72.3(-) | 68.4(-) | 69.4(-) | 65.9(-) | 64.2(-) | 56.9(-) | 71.6 | 64.6 | 66.5 | 67.9 | 70.7 |
| 315 | 68.7(-) | 71.1(-) | 66.0(-) | 69.9(-) | 48.5(-) | 53.5(-) | 70.2 | 67.3 | 66.9 | 68.7 | 68.1 |
| 400 | 45.6 | 63.9(-) | 61.0 | 64.6(-) | 57.5 | 59.5 | 70.7 | 71.1 | 70.4 | 69.8 | 76.3 |
| 500 | 64.5(-) | 66.6(-) | 59.3(-) | 65.8(-) | 51.7 | 57.7 | 67.0 | 66.8 | 64.8 | 61.8 | 64.8 |
| 630 | 57.8 | 56.9 | 70.6 | 68.2 | 46.3 | 55.4 | 71.6 | 69.7 | 68.4 | 64.2 | 77.2 |
| 800 | 57.8(-) | 59.0(-) | 45.8 | 58.2(-) | 44.9 | 43.5(-) | 64.2 | 64.2 | 63.3 | 62.0 | 68.4 |
| 1000 | 49.8 | 60.4(-) | 57.2 | 59.1(-) | 50.4 | 37.6 | 65.2 | 62.6 | 59.8 | 60.4 | 67.8 |
| 1250 | 53.4 | 60.2(-) | 56.4 | 58.9(-) | 50.6 | 49.0 | 62.7 | 61.2 | 58.1 | 57.5 | 65.4 |
| 1600 | 45.8(-) | 60.4(-) | 52.0 | 57.1(-) | 47.7 | 49.0 | 60.4 | 59.4 | 56.8 | 57.3 | 62.1 |
| 2000 | 53.4(-) | 61.4(-) | 58.5(-) | 59.9(-) | 36.7(-) | 49.1(-) | 61.0 | 61.3 | 57.9 | 57.2 | 55.8 |
| 2500 | 52.0 | 55.0 | 47.4 | 51.7 | 37.2 | 44.0(-) | 59.4 | 59.6 | 55.1 | 54.1 | 64.8 |
| 3150 | 53.4 | 55.1 | 52.7 | 53.7 | 35.8 | 39.8(-) | 57.2 | 57.2 | 53.1 | 52.2 | 63.7 |
| 4000 | 52.4 | 54.8 | 52.1 | 53.1 | 32.8 | 26.9 | 55.0 | 55.8 | 50.4 | 49.9 | 62.4 |
| 5000 | 51.9 | 53.5 | 52.1 | 53.4 | 27.2 | 34.2 | 53.3 | 54.5 | 49.4 | 49.3 | 61.6 |
| 6300 | 50.9 | 48.3 | 51.0 | 48.9 | 31.2 | 38.2(-) | 52.7 | 53.4 | 49.0 | 46.9 | 59.6 |
| 8000 | 47.6 | 49.3 | 49.5 | 48.1 | 35.7 | 38.5 | 51.3 | 52.6 | 46.6 | 47.4 | 58.6 |
| 10000 | 46.2 | 46.7 | 47.4 | 48.1 | 35.4 | 35.8 | 48.6 | 49.9 | 43.8 | 44.6 | 56.4 |
| L | 78.2(-) | 73.3(-) | 74.4(-) | 70.1(-) | 68.6(-) | 68.0 | 80.9 | 78.8 | 77.1 | 77.5 | 83.4 |

Tabla 8.48: Áreas de los elementos de superficie asociados a los 10 barridos que forman el paralelepípedo de medida, sus niveles de potencia acústica a partir de los niveles de intensidad y los niveles de potencia global total para las frecuencias de 125 a 10 kHz con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida

Por otro lado, las Figuras 8.41 y 8.42 muestran la representación gráfica de los niveles de potencia acústica calculados a partir de las medidas de intensidad con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida para las frecuencias de 125 a 10000 Hz y para los distintos barridos respectivamente.

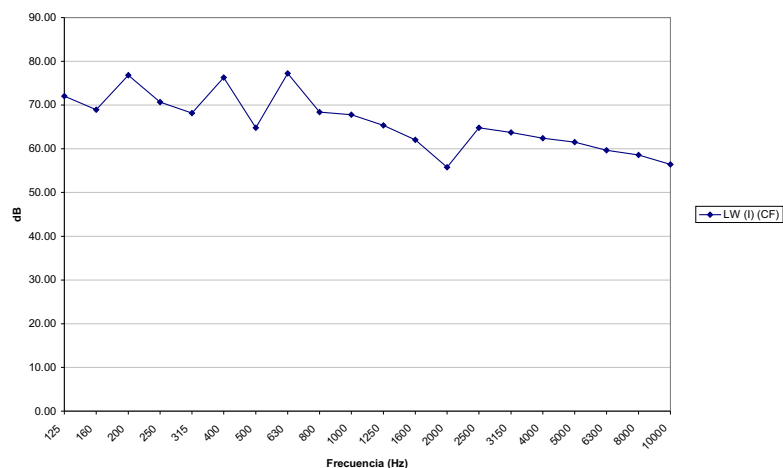


Figura 8.41: Niveles de potencia acústica para las frecuencias de 125 a 10000 Hz calculados a partir de las medidas de intensidad en los 10 barridos de medida con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida

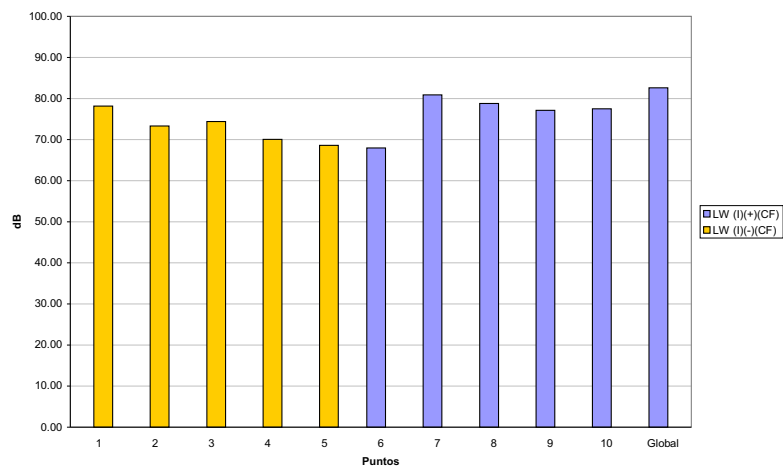


Figura 8.42: Niveles de potencia acústica en los 10 barridos y valor global calculados a partir de las medidas de intensidad realizadas con la presencia de la fuente omnidireccional externa a la superficie de medida

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

Seguidamente, se calculan los coeficientes de absorción de los paneles absorbentes para las frecuencias de 125 a 10000 Hz utilizando la ecuación (8.8). En la *Tabla 8.49* se muestran los resultados obtenidos junto con los niveles de potencia utilizados y la *Figura 8.43* muestra su representación.

| Frecuencia (Hz) | $LWI_{(SF)}$ (dB) | $LWI_{(CF)}$ (dB) | LW_{Id} (dB) | LW_{Ir} (dB) | α |
|--------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|----------|
| 125 | 67.9 | 72.1 | 72.5 | 73.6 | -0.20 |
| 160 | 73.0 | 68.9 | 78.2 | 79.4 | 0.37 |
| 200 | 78.1 | 76.8 | 81.6 | 82.7 | 0.32 |
| 250 | 74.9 | 70.7 | 79.8 | 80.9 | 0.57 |
| 315 | 72.7 | 68.1 | 78.6 | 79.7 | 0.50 |
| 400 | 75.8 | 76.3 | 77.0 | 78.1 | 0.16 |
| 500 | 71.7 | 64.8 | 75.0 | 76.1 | 0.51 |
| 630 | 77.0 | 77.2 | 71.9 | 73.1 | 0.06 |
| 800 | 70.5 | 68.4 | 71.1 | 72.2 | 0.49 |
| 1000 | 69.8 | 67.8 | 70.8 | 71.9 | 0.45 |
| 1250 | 67.8 | 65.4 | 68.7 | 69.9 | 0.50 |
| 1600 | 65.1 | 62.1 | 70.1 | 71.2 | 0.35 |
| 2000 | 65.4 | 55.8 | 70.1 | 71.2 | 0.46 |
| 2500 | 66.1 | 64.8 | 63.6 | 64.7 | 0.59 |
| 3150 | 64.5 | 63.7 | 59.8 | 60.9 | 0.57 |
| 4000 | 63.2 | 62.4 | 56.3 | 57.4 | 0.89 |
| 5000 | 61.9 | 61.6 | 58.9 | 60.1 | 0.33 |
| 6300 | 60.4 | 59.6 | 60.2 | 61.3 | 0.36 |
| 8000 | 58.3 | 58.6 | 62.4 | 63.6 | 0.21 |
| 10000 | 55.5 | 56.4 | 56.1 | 57.2 | 0.08 |
| L | 84.6 | 83.4 | 87.4 | 88.6 | |

Tabla 8.49: Niveles de potencia acústica de la fuente sonora bajo ensayo y los niveles de potencias utilizados en su cálculo para las frecuencias 125-10000 Hz. Medición por barrido - 10 barridos

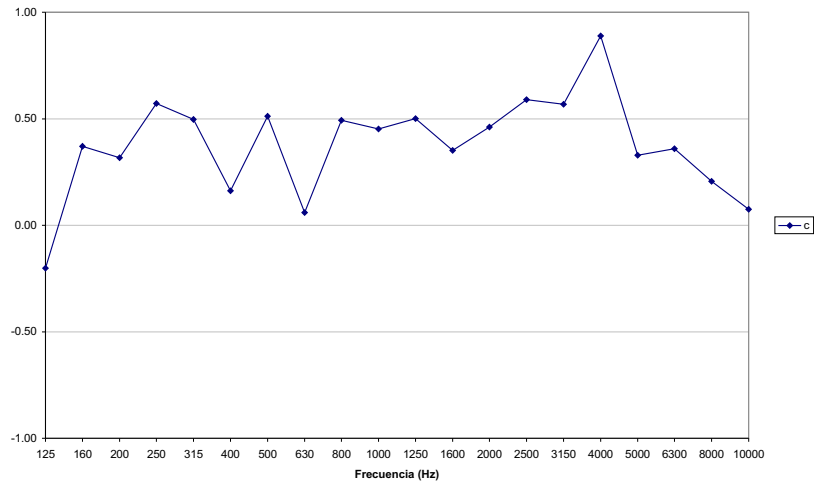


Figura 8.43: Coeficientes de absorción α de los paneles absorbentes para las frecuencias 125-10000 Hz obtenidos por medio de los 10 barridos de intensidad

Nuevamente se obtiene una buena aproximación de los coeficientes de absorción para las diferentes frecuencias.

Una vez obtenido α se calculan los valores de W_{amb} y W para las frecuencias de 125 a 10000 Hz. La Tabla 8.50 muestra los diferentes niveles de potencia calculados.

Capítulo 8. Método complementario a la normativa.

| Frecuencia (Hz) | $LWI_{(SF)}$ (dB) | $LWp_{(SF)}$ (dB) | $LWI_{(CF)}$ (dB) | LWI_d (dB) | LWI_r (dB) | α | LW_{amb} (dB) | LW (dB) |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|----------|--------------------|-------------------|
| 125 | 67.9 | 71.6 | 72.1 | 72.5 | 73.6 | -0.20 | 64.2 | 67.7 |
| 160 | 73.0 | 76.1 | 68.9 | 78.2 | 79.4 | 0.37 | 67.2 | 73.2 |
| 200 | 78.1 | 80.0 | 76.8 | 81.6 | 82.7 | 0.32 | 64.2 | 78.1 |
| 250 | 74.9 | 78.4 | 70.7 | 79.8 | 80.9 | 0.57 | 70.3 | 75.3 |
| 315 | 72.7 | 75.9 | 68.1 | 78.6 | 79.7 | 0.50 | 67.4 | 73.0 |
| 400 | 75.8 | 78.0 | 76.3 | 77.0 | 78.1 | 0.16 | 65.6 | 75.9 |
| 500 | 71.7 | 74.7 | 64.8 | 75.0 | 76.1 | 0.51 | 65.8 | 71.9 |
| 630 | 76.9 | 79.4 | 77.2 | 71.9 | 73.0 | 0.06 | 68.7 | 77.0 |
| 800 | 70.5 | 73.8 | 68.4 | 71.1 | 72.2 | 0.49 | 65.3 | 70.9 |
| 1000 | 69.8 | 72.8 | 67.8 | 70.8 | 71.9 | 0.45 | 63.7 | 70.0 |
| 1250 | 67.8 | 70.8 | 65.4 | 68.7 | 69.8 | 0.50 | 61.5 | 68.1 |
| 1600 | 65.1 | 67.6 | 62.1 | 70.1 | 71.2 | 0.35 | 56.5 | 65.2 |
| 2000 | 65.4 | 67.3 | 55.8 | 70.0 | 71.2 | 0.46 | 51.5 | 65.4 |
| 2500 | 66.1 | 68.1 | 64.8 | 63.6 | 64.7 | 0.59 | 53.8 | 66.2 |
| 3150 | 64.4 | 66.6 | 63.7 | 59.8 | 60.9 | 0.57 | 53.6 | 64.6 |
| 4000 | 63.2 | 65.2 | 62.4 | 56.3 | 57.4 | 0.89 | 50.1 | 63.3 |
| 5000 | 61.8 | 64.3 | 61.5 | 58.9 | 60.1 | 0.33 | 53.1 | 61.9 |
| 6300 | 60.4 | 62.6 | 59.6 | 60.2 | 61.3 | 0.36 | 49.6 | 60.5 |
| 8000 | 58.3 | 60.3 | 58.6 | 62.4 | 63.6 | 0.21 | 46.6 | 58.3 |
| 10000 | 55.5 | 57.0 | 56.4 | 56.1 | 57.2 | 0.08 | 40.9 | 55.5 |
| L | 84.6 | 87.2 | 83.4 | 87.4 | 88.6 | | 77.0 | 84.8 |

Tabla 8.50: Niveles de potencia acústica de la fuente sonora bajo ensayo y los niveles de potencias utilizados en su cálculo para las frecuencias 125-10000 Hz. Medición por barrido - 10 barridos

Por último, se realiza la comparación de los niveles de potencia acústica de la fuente bajo ensayo obtenidos por el método planteado con los 10 barridos y por medio de las medidas de intensidad sin la fuente omnidireccional (Figura 8.44).

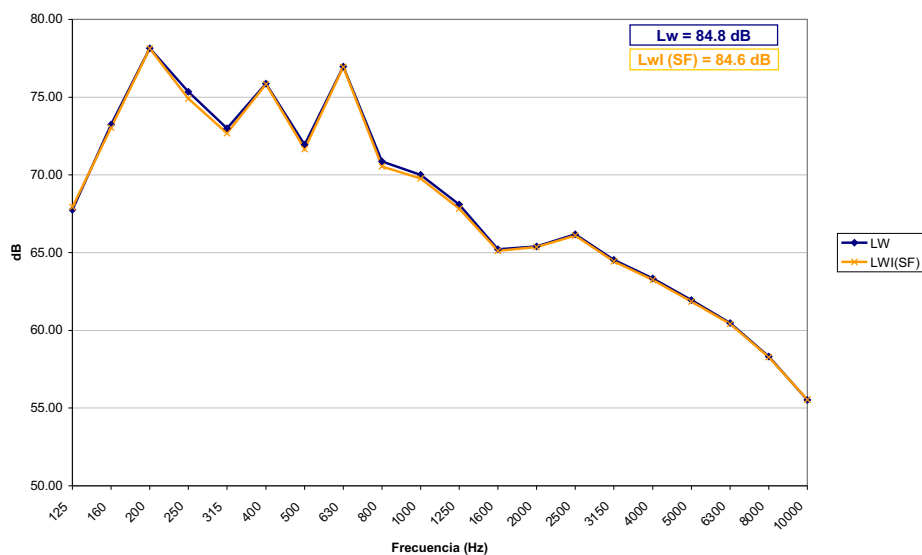


Figura 8.44: Comparación niveles de potencia acústica de la fuente bajo ensayo obtenidos por el método planteado con los 10 barridos y por medio de las medidas de intensidad sin la fuente omnidireccional

Nuevamente, al igual que en el caso de los 18 barridos, se tiene que los niveles de potencia obtenidos con las medidas de intensidad acústica sin la presencia de la fuente externa omnidireccional son menores que los niveles de potencia obtenidos con el método alternativo planteado debido a la presencia de aislamiento dentro de nuestra definición de fuente sonora y la influencia del ruido ambiental.

8.10. Resultados finales

Una vez aplicado el método complementario a la normativa planteado para la obtención de los niveles de potencia acústica de la fuente y los coeficientes de absorción de los paneles absorbentes para las frecuencias de 125 a 10000 Hz por medición de puntos discretos y por barridos, se aprecia como, para este caso particular, la realización de los 18 barridos proporciona una mayor información significativa de los segmentos de la superficie de medida, con lo que se obtiene unos resultados más exactos sobre todo en la determinación de los coeficientes de absorción para las diferentes frecuencias.

De esta forma, se puede decir que los coeficientes de absorción de los paneles absorbentes que se encuentran en el interior de la superficie de medida definida y los niveles de potencia acústica del muestreador para las frecuencias de 125 a 10000 Hz son los mostrados en la *Tabla 8.51* y los representados en las *Figuras 8.45 y 8.46* respectivamente.

| Frecuencia Hz | α (Calculado) | LW (Calculado) (dB) |
|------------------|----------------------|------------------------|
| 125 | -0.08 | 67.4 |
| 160 | 0.55 | 73.6 |
| 200 | 0.31 | 78.2 |
| 250 | 0.68 | 76.4 |
| 315 | 0.45 | 72.6 |
| 400 | 0.17 | 75.6 |
| 500 | 0.52 | 71.8 |
| 630 | 0.11 | 77.3 |
| 800 | 0.49 | 70.6 |
| 1000 | 0.46 | 70.1 |
| 1250 | 0.50 | 67.9 |
| 1600 | 0.38 | 65.2 |
| 2000 | 0.44 | 65.0 |
| 2500 | 0.52 | 65.7 |
| 3150 | 0.48 | 64.1 |
| 4000 | 0.62 | 62.8 |
| 5000 | 0.25 | 61.3 |
| 6300 | 0.35 | 60.1 |
| 8000 | 0.21 | 57.9 |
| 10000 | 0.10 | 55.0 |
| L | | 84.9 |

Tabla 8.51: Coeficientes de absorción de los paneles absorbentes y niveles de potencia acústica del muestreador calculados con el método complementario a la normativa planteado para las frecuencias de 125 a 10000 Hz.

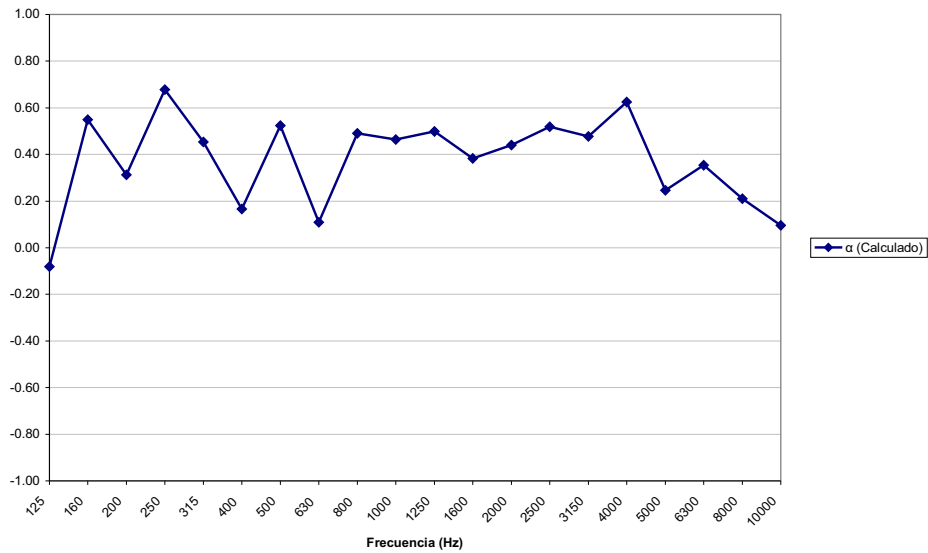


Figura 8.45: Coeficientes de absorción de los paneles absorbentes para las frecuencias de 125 a 10000 Hz obtenidos a partir del método complementario a la normativa planteado.

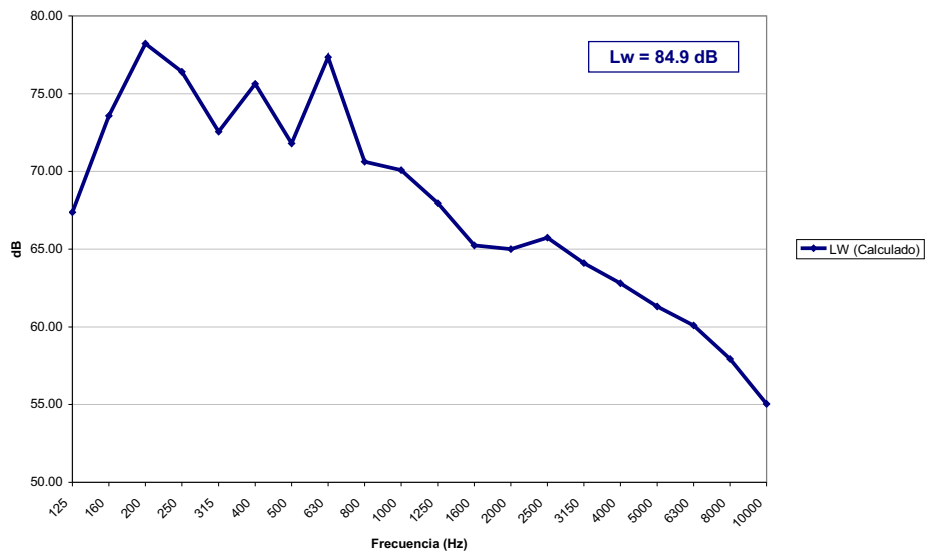


Figura 8.46: Niveles de potencia acústica del muestreador para las frecuencias de 125 a 10000 Hz obtenidos a partir del método complementario a la normativa planteado.

Capítulo 9

Conclusiones.

- Como primera conclusión, destacar que se ha realizado la caracterización acústica de una fuente sonora enmarcada en un entorno “no ideal” mediante medidas “in situ”, obteniendo sus niveles de potencia acústica para un espectro de frecuencias dado aplicando el método complementario a la normativa propuesto.
- Destacar que con la realización de esta tesis se ha afrontado un problema concreto donde la normativa existente no proporciona soluciones con unos límites aceptables de incertidumbre y se ha ideado un método alternativo para la obtención de niveles de potencia acústica aceptables para un grado de precisión de ingeniería de una fuente con medidas “in situ” de intensidad para este caso especial.
- El método complementario a la normativa propuesto, consiste en la realización de medidas con la sonda de intensidad acústica sobre una superficie de medida definida, en dos entornos de medición: el primero, en el entorno normal de funcionamiento de la fuente bajo ensayo y el segundo, añadiendo a dicho entorno una fuente sonora omnidireccional de potencia acústica conocida. Así, con estas medidas en los dos entornos, se determina la potencia acústica de la fuente en ambos casos ($LWI_{(SF)}$, $LWP_{(SF)}$ y $LWI_{(CF)}$). Una vez realizadas estas medidas “in situ”, el resto de parámetros se obtienen definiendo geométricamente las condiciones del entorno de medición con la fuente externa y la superficie de medida. Así, se obtiene por el método de las imágenes la influencia de

la fuente externa en las medidas, obteniendo de esta forma la potencia que llega de forma directa y reflejada en las superficies absorbentes (LW_{Id} y LW_{Ir}). A continuación, se obtiene el factor que aproxima los espectros de potencia obtenidos por intensidad y por presión acústica (Δ_{cos}) y el factor que relaciona las superficies absorbentes con la superficie total de la superficie de medida (f_s). Con toda esta información se resuelven los balances de potencias propuestos y se obtiene los parámetros buscados.

- Este método planteado proporciona una alternativa en aquellos casos en los que se quiere determinar los niveles de potencia acústica de una fuente sonora, que no es conveniente parar ni mover, que tiene la influencia de otras fuentes sonoras externas y que además, muestra una absorción acústica significativa al disponer en el interior de su superficie de medida, de materiales absorbentes que van a influir en el cálculo de la potencia de la fuente.
- Con la aplicación de este método además del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo, se averigua también el coeficiente de absorción de los materiales absorbentes que se encuentran en el interior de la superficie de medida, así como la influencia de fuentes sonoras externas a la superficie de medida.
- Los niveles de potencia acústica obtenidos con el método alternativo a la normativa planteado, proporcionan unos resultados aceptables de los niveles de potencia de la fuente real para un grado de precisión de ingeniería, al no verse afectados por la presencia de absorción ni la existencia de ruido ambiental.
- Por otra parte, para completar la caracterización de la fuente sonora, se ha realizado un estudio de su directividad utilizando medidas de presión acústica. Con este estudio, se han obtenido los diagramas polares de sus niveles acústicos y de sus factores de directividad, apreciando como en general la fuente tiene una directividad destacada en los puntos situados entre 0° y 60° . De esta forma, se ha descrito en mayor medida la fuente bajo ensayo y se ha obtenido información útil para la realización de los modelos acústicos implementados con el software Tympan 3.2 en el CERN.

- En el desarrollo de esta tesis, también se ha verificado mediante la realización de un estudio práctico con medidas “in situ”, que la diferencia entre los niveles de presión e intensidad obtenidos con la sonda de intensidad, está ligada al coseno del ángulo, $\cos \theta$, que forma el vector intensidad con la perpendicular a la superficie de medida. Así, mediante consideraciones geométricas, se ha obtenido un factor, Δ_{cos} , que acerca los resultados de los niveles de potencia acústica de una fuente obtenidos mediante presión e intensidad acústica.
- La realización de este documento se enmarca dentro de la necesidad de una mayor aplicabilidad de los medios existentes en el campo de la acústica, sobre todo en laboratorios y en entornos controlados, a las medidas “in situ”.
- Señalar que aunque las medidas de intensidad acústica conllevan una mayor dificultad de preparación y de ejecución que las medidas de presión acústica, este método proporciona una solución aplicable a un caso común en el ámbito industrial, que no podría haber sido resuelto siguiendo las normativas existentes.

Capítulo 10

Futuros desarrollos.

La realización de esta tesis y la propuesta del método complementario a la normativa existente, se realizó durante la estancia del doctorando en el CERN, utilizando los equipos que allí disponían, y se efectuó en paralelo con la realización de otro proyecto de modelización acústica de diferentes Puntos Superficiales del acelerador LHC.

Este hecho hizo que, para optimizar el tiempo, el método propuesto fuese aplicado primero directamente a un entorno real y no a fuentes, materiales y entornos conocidos que hubiesen requerido un mayor tiempo de planificación y preparación.

De esta forma, como líneas futuras de investigación, se podría aplicar el método complementario a fuentes sonoras, materiales absorbentes y entornos conocidos para evaluarlo en mayor detalle y realizar un estudio más exhaustivo sobre él.

Por otro lado, se podría aumentar el número de ensayos para cada caso específico, con el fin de estudiar en profundidad la precisión asociada al método, establecer márgenes de confianza e identificar y cuantificar los parámetros que pueden tener una mayor influencia en la aparición de errores al determinar los niveles de potencia acústica.

Finalmente, comentar que el método propuesto tiene una componente importante de trabajo con hojas de cálculo. En los estudios de la tesis, se han realizado hojas de cálculo específicas para el caso bajo estudio, pero como futuros desarrollos, se podrían realizar modelos genéricos para aplicarlos a cualquier caso y conseguir así agilizar mucho los cálculos y disminuir los tiempos empleados en la parte teórica.

Anexo A

Espectros en frecuencias de los niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas de los Puntos del LHC.

**Anexo A. Espectros en frecuencias de los niveles de potencia acústica de las 10
fuentes sonoras más significativas de los Puntos del LHC.**

| Fuentes Sonoras Punto 1 - 1.8 del LHC | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Hz | LW1 (dB) | LW2 (dB) | LW3 (dB) | LW4 (dB) | LW5 (dB) | LW6 (dB) | LW7 (dB) | LW8 (dB) | LW9 (dB) | LW10 (dB) |
| 125 | 82.1 | 82.7 | 82.2 | 84.9 | 83.7 | 81.7 | 70.7 | 60.5 | 64.9 | 56.3 |
| 160 | 86.4 | 86.0 | 85.5 | 87.4 | 82.8 | 69.8 | 72.9 | 79.0 | 61.5 | 66.6 |
| 200 | 89.6 | 88.3 | 83.9 | 86.4 | 79.5 | 84.4 | 87.1 | 79.3 | 57.6 | 69.8 |
| 250 | 93.2 | 91.8 | 87.8 | 87.4 | 82.8 | 74.4 | 70.6 | 81.5 | 53.9 | 69.9 |
| 315 | 93.1 | 91.8 | 88.0 | 82.8 | 83.1 | 81.6 | 77.8 | 78.1 | 56.6 | 72.6 |
| 400 | 86.5 | 85.0 | 80.8 | 81.2 | 82.6 | 74.6 | 71.7 | 78.3 | 54.4 | 68.7 |
| 500 | 88.2 | 85.7 | 81.8 | 81.0 | 79.7 | 84.7 | 67.2 | 71.6 | 53.3 | 67.8 |
| 630 | 89.1 | 85.7 | 82.2 | 77.5 | 77.0 | 82.4 | 69.8 | 73.4 | 54.0 | 76.9 |
| 800 | 88.7 | 86.2 | 82.9 | 77.2 | 74.6 | 67.9 | 67.4 | 60.4 | 53.4 | 76.4 |
| 1000 | 87.9 | 86.5 | 82.7 | 80.5 | 74.6 | 63.0 | 65.6 | 58.1 | 57.0 | 79.9 |
| 1250 | 88.7 | 86.7 | 83.5 | 77.5 | 74.6 | 61.4 | 65.9 | 50.2 | 63.9 | 74.6 |
| 1600 | 87.0 | 85.6 | 82.0 | 76.6 | 72.1 | 59.5 | 62.6 | 43.6 | 69.5 | 70.2 |
| 2000 | 86.8 | 84.1 | 80.9 | 77.9 | 71.6 | 57.1 | 62.7 | 42.0 | 68.9 | 69.3 |
| 2500 | 83.6 | 83.3 | 80.0 | 76.7 | 70.9 | 55.4 | 64.5 | 40.1 | 68.3 | 71.9 |
| 3150 | 81.5 | 80.9 | 77.8 | 75.4 | 70.5 | 52.9 | 62.7 | 38.4 | 71.3 | 74.4 |
| 4000 | 80.3 | 79.5 | 76.7 | 74.1 | 70.5 | 50.9 | 62.2 | 38.1 | 74.6 | 70.6 |
| 5000 | 76.9 | 76.8 | 75.2 | 73.8 | 70.6 | 49.7 | 57.2 | 38.8 | 79.8 | 64.7 |
| 6300 | 73.9 | 74.3 | 72.4 | 67.2 | 70.2 | 48.1 | 55.5 | 41.8 | 83.7 | 52.6 |
| 8000 | 69.5 | 69.9 | 67.9 | 61.7 | 70.4 | 45.3 | 52.8 | 33.9 | 76.0 | 44.6 |
| 10000 | 64.9 | 63.2 | 62.9 | 55.2 | 69.8 | 42.6 | 50.2 | 32.9 | 74.5 | 40.1 |
| L | 100.5 | 98.9 | 95.6 | 94.5 | 91.5 | 90.5 | 88.3 | 86.8 | 86.8 | 85.5 |

Tabla A.1: Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes más relevantes del Punto 1 - 1.8 del LHC

Anexo A. Espectros en frecuencias de los niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas de los Puntos del LHC.

| Fuentes Sonoras Punto 2 del LHC | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Hz | LW1 (dB) | LW2 (dB) | LW3 (dB) | LW4 (dB) | LW5 (dB) | LW6 (dB) | LW7 (dB) | LW8 (dB) | LW9 (dB) | LW10 (dB) |
| 125 | 95.6 | 97.1 | 92.6 | 70.8 | 79.9 | 77.4 | 68.7 | 72.8 | 58.7 | 74.4 |
| 160 | 95.9 | 95.4 | 91.1 | 79.0 | 85.5 | 77.7 | 69.0 | 78.3 | 57.4 | 79.4 |
| 200 | 92.9 | 91.9 | 88.8 | 79.5 | 78.8 | 89.9 | 69.7 | 74.0 | 56.8 | 73.4 |
| 250 | 89.3 | 84.5 | 87.3 | 80.0 | 74.9 | 74.4 | 71.3 | 67.9 | 56.4 | 70.2 |
| 315 | 85.9 | 84.9 | 85.8 | 81.9 | 87.1 | 85.0 | 69.9 | 71.3 | 60.5 | 79.6 |
| 400 | 84.4 | 82.0 | 84.9 | 78.7 | 83.4 | 78.2 | 71.0 | 86.4 | 57.2 | 75.9 |
| 500 | 79.7 | 81.3 | 81.7 | 87.0 | 77.4 | 74.0 | 73.9 | 71.1 | 60.5 | 70.6 |
| 630 | 75.1 | 79.5 | 79.0 | 88.6 | 79.1 | 72.2 | 75.4 | 71.1 | 66.1 | 72.2 |
| 800 | 75.2 | 77.7 | 79.6 | 89.8 | 77.5 | 65.0 | 76.2 | 69.2 | 68.0 | 70.7 |
| 1000 | 74.3 | 78.1 | 79.5 | 87.6 | 81.3 | 64.0 | 78.4 | 68.0 | 69.7 | 73.8 |
| 1250 | 75.0 | 72.3 | 75.7 | 83.9 | 77.2 | 64.2 | 78.5 | 65.7 | 78.7 | 70.1 |
| 1600 | 76.8 | 73.3 | 73.6 | 83.2 | 78.9 | 63.8 | 79.4 | 64.3 | 80.2 | 71.7 |
| 2000 | 78.3 | 70.5 | 74.3 | 80.1 | 74.7 | 65.2 | 81.2 | 64.2 | 83.8 | 67.7 |
| 2500 | 80.5 | 68.8 | 71.4 | 77.0 | 72.1 | 66.9 | 82.4 | 59.3 | 72.5 | 65.0 |
| 3150 | 83.1 | 66.3 | 68.3 | 75.4 | 70.2 | 68.3 | 82.5 | 56.7 | 72.0 | 63.1 |
| 4000 | 85.3 | 63.2 | 67.5 | 70.2 | 69.1 | 69.0 | 82.3 | 54.3 | 68.6 | 62.0 |
| 5000 | 86.5 | 61.8 | 66.8 | 65.9 | 69.5 | 69.2 | 81.6 | 52.7 | 61.4 | 62.3 |
| 6300 | 87.0 | 63.1 | 65.1 | 61.2 | 68.8 | 68.3 | 80.1 | 50.3 | 57.6 | 61.5 |
| 8000 | 86.9 | 59.2 | 63.1 | 56.0 | 66.9 | 66.5 | 78.7 | 49.3 | 49.8 | 59.6 |
| 10000 | 86.5 | 56.1 | 61.0 | 50.5 | 64.9 | 63.3 | 76.9 | 45.8 | 42.8 | 57.5 |
| L | 101.4 | 100.6 | 97.5 | 95.9 | 92.7 | 92.0 | 91.5 | 87.9 | 86.9 | 85.8 |

Tabla A.2: Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes más relevantes del Punto 2 del LHC

Anexo A. Espectros en frecuencias de los niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas de los Puntos del LHC.

| Fuentes Sonoras Punto 3.2 - 3.3 del LHC | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Hz | LW1 (dB) | LW2 (dB) | LW3 (dB) | LW4 (dB) | LW5 (dB) | LW6 (dB) | LW7 (dB) | LW8 (dB) | LW9 (dB) | LW10 (dB) |
| 125 | 94.6 | 92.6 | 82.5 | 66.4 | 78.4 | 75.6 | 63.8 | 70.7 | 74.1 | 62.4 |
| 160 | 97.2 | 95.0 | 72.1 | 61.5 | 76.6 | 67.7 | 63.9 | 56.7 | 65.1 | 62.4 |
| 200 | 98.6 | 97.7 | 65.2 | 81.8 | 72.1 | 62.1 | 63.2 | 72.2 | 61.3 | 60.5 |
| 250 | 95.7 | 94.5 | 62.6 | 63.4 | 71.1 | 61.4 | 65.3 | 55.6 | 61.7 | 68.1 |
| 315 | 96.6 | 96.3 | 61.3 | 70.2 | 69.9 | 66.6 | 66.1 | 65.9 | 62.3 | 62.7 |
| 400 | 94.9 | 93.3 | 62.0 | 60.0 | 65.7 | 78.1 | 67.8 | 61.4 | 61.7 | 59.1 |
| 500 | 93.7 | 93.0 | 58.6 | 60.4 | 63.6 | 62.6 | 68.5 | 65.3 | 59.1 | 55.0 |
| 630 | 93.1 | 92.1 | 56.2 | 70.6 | 60.8 | 63.2 | 69.3 | 53.7 | 57.1 | 51.4 |
| 800 | 91.3 | 90.4 | 57.0 | 67.7 | 59.8 | 69.2 | 71.0 | 49.2 | 55.1 | 50.5 |
| 1000 | 90.3 | 89.7 | 56.8 | 59.3 | 59.3 | 65.0 | 71.6 | 48.8 | 52.8 | 54.9 |
| 1250 | 89.1 | 89.0 | 60.2 | 58.9 | 59.4 | 63.7 | 71.5 | 51.4 | 51.6 | 54.0 |
| 1600 | 87.6 | 87.6 | 62.8 | 58.7 | 61.5 | 62.5 | 71.1 | 53.1 | 49.5 | 51.7 |
| 2000 | 86.5 | 86.3 | 55.9 | 57.7 | 56.8 | 60.7 | 70.5 | 48.4 | 45.8 | 51.8 |
| 2500 | 85.3 | 85.3 | 49.1 | 55.2 | 55.1 | 58.9 | 69.4 | 47.1 | 44.6 | 51.1 |
| 3150 | 83.5 | 83.3 | 45.6 | 57.6 | 52.1 | 55.9 | 68.3 | 53.8 | 44.3 | 50.4 |
| 4000 | 79.5 | 80.2 | 43.7 | 51.1 | 47.9 | 53.8 | 66.8 | 44.1 | 42.5 | 50.3 |
| 5000 | 75.7 | 76.6 | 41.2 | 45.5 | 43.7 | 49.5 | 65.7 | 40.3 | 38.1 | 44.7 |
| 6300 | 73.9 | 74.3 | 38.5 | 46.6 | 39.3 | 45.3 | 64.8 | 36.5 | 36.2 | 41.2 |
| 8000 | 68.7 | 69.9 | 36.8 | 40.2 | 35.7 | 40.8 | 63.8 | 37.4 | 33.9 | 39.1 |
| 10000 | 64.9 | 66.2 | 36.4 | 35.4 | 32.0 | 38.6 | 62.2 | 36.3 | 29.9 | 38.4 |
| L | 105.6 | 104.5 | 83.2 | 82.9 | 82.2 | 81.4 | 81.2 | 75.9 | 75.7 | 71.9 |

Tabla A.3: Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes más relevantes del Punto 3.2 - 3.3 del LHC

Anexo A. Espectros en frecuencias de los niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas de los Puntos del LHC.

| Fuentes Sonoras Punto 4 del LHC | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Hz | LW1 (dB) | LW2 (dB) | LW3 (dB) | LW4 (dB) | LW5 (dB) | LW6 (dB) | LW7 (dB) | LW8 (dB) | LW9 (dB) | LW10 (dB) |
| 125 | 78.4 | 80.6 | 76.9 | 83.5 | 71.8 | 67.2 | 70.2 | 74.5 | 69.0 | 63.4 |
| 160 | 70.8 | 78.0 | 71.5 | 82.1 | 72.7 | 77.3 | 83.1 | 73.1 | 67.0 | 65.4 |
| 200 | 71.6 | 76.9 | 70.8 | 79.7 | 69.9 | 72.2 | 69.1 | 76.3 | 73.5 | 65.3 |
| 250 | 73.7 | 73.7 | 70.7 | 78.3 | 74.9 | 68.4 | 65.4 | 70.9 | 69.8 | 69.3 |
| 315 | 73.9 | 74.3 | 72.2 | 76.7 | 74.3 | 68.3 | 64.4 | 71.5 | 72.9 | 69.8 |
| 400 | 82.8 | 78.7 | 77.7 | 75.9 | 76.6 | 69.5 | 62.1 | 69.7 | 70.4 | 69.7 |
| 500 | 87.9 | 85.6 | 84.9 | 72.6 | 76.8 | 66.6 | 64.4 | 71.5 | 71.5 | 71.0 |
| 630 | 79.3 | 80.3 | 76.4 | 70.0 | 77.9 | 73.2 | 64.7 | 70.3 | 69.1 | 69.3 |
| 800 | 81.9 | 79.8 | 77.5 | 70.5 | 77.6 | 78.5 | 68.2 | 68.0 | 68.5 | 67.8 |
| 1000 | 86.4 | 85.0 | 83.2 | 70.4 | 75.6 | 75.6 | 66.0 | 69.0 | 64.8 | 66.7 |
| 1250 | 85.8 | 85.9 | 83.5 | 66.7 | 75.8 | 71.9 | 62.0 | 65.0 | 64.7 | 66.5 |
| 1600 | 84.4 | 83.6 | 81.4 | 64.5 | 73.7 | 71.3 | 60.1 | 63.4 | 62.5 | 66.0 |
| 2000 | 80.5 | 79.7 | 77.4 | 65.3 | 70.6 | 70.6 | 61.7 | 61.5 | 65.0 | 66.3 |
| 2500 | 77.5 | 76.1 | 74.3 | 62.3 | 67.2 | 74.3 | 68.1 | 57.9 | 61.8 | 63.6 |
| 3150 | 74.2 | 73.1 | 71.3 | 59.3 | 63.7 | 72.9 | 71.5 | 53.5 | 54.5 | 60.4 |
| 4000 | 70.9 | 70.7 | 68.2 | 58.5 | 61.4 | 67.5 | 63.4 | 52.8 | 51.2 | 58.4 |
| 5000 | 70.7 | 70.0 | 67.8 | 57.7 | 57.9 | 59.4 | 56.5 | 50.0 | 51.1 | 56.5 |
| 6300 | 67.5 | 65.8 | 64.5 | 56.1 | 54.3 | 51.7 | 50.5 | 49.9 | 41.9 | 55.7 |
| 8000 | 63.3 | 62.1 | 60.1 | 54.1 | 48.7 | 46.7 | 45.7 | 46.9 | 38.1 | 52.4 |
| 10000 | 60.9 | 59.7 | 57.7 | 52.0 | 42.9 | 46.0 | 40.1 | 43.0 | 37.2 | 49.1 |
| L | 94.0 | 93.1 | 91.0 | 88.4 | 86.4 | 85.1 | 84.4 | 82.4 | 80.7 | 79.3 |

Tabla A.4: Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes más relevantes del Punto 4 del LHC

Anexo A. Espectros en frecuencias de los niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas de los Puntos del LHC.

| Fuentes Sonoras Punto 5 del LHC | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Hz | LW1 (dB) | LW2 (dB) | LW3 (dB) | LW4 (dB) | LW5 (dB) | LW6 (dB) | LW7 (dB) | LW8 (dB) | LW9 (dB) | LW10 (dB) |
| 125 | 74.4 | 90.1 | 78.8 | 88.2 | 85.2 | 86.0 | 80.8 | 82.0 | 83.1 | 72.7 |
| 160 | 83.1 | 88.5 | 77.6 | 86.3 | 82.5 | 85.9 | 81.5 | 80.2 | 78.3 | 74.1 |
| 200 | 80.0 | 87.2 | 90.8 | 82.1 | 79.2 | 81.4 | 79.8 | 76.2 | 76.1 | 76.0 |
| 250 | 97.3 | 83.7 | 77.2 | 76.1 | 77.4 | 80.9 | 82.1 | 75.8 | 75.4 | 74.3 |
| 315 | 81.4 | 81.6 | 87.9 | 80.3 | 80.2 | 86.8 | 79.0 | 84.5 | 74.5 | 75.8 |
| 400 | 70.8 | 81.7 | 81.8 | 71.2 | 83.7 | 74.0 | 79.7 | 73.3 | 72.6 | 70.9 |
| 500 | 71.3 | 81.2 | 85.2 | 68.6 | 82.2 | 69.6 | 79.4 | 69.2 | 71.3 | 74.1 |
| 630 | 72.7 | 80.3 | 76.7 | 67.9 | 80.8 | 69.7 | 75.3 | 70.6 | 71.9 | 72.6 |
| 800 | 70.6 | 78.4 | 75.0 | 69.1 | 80.1 | 61.6 | 72.8 | 66.9 | 69.2 | 73.8 |
| 1000 | 62.0 | 76.0 | 71.2 | 70.4 | 77.9 | 68.1 | 70.4 | 74.4 | 66.5 | 70.8 |
| 1250 | 61.3 | 74.2 | 68.1 | 70.0 | 78.2 | 64.3 | 72.6 | 68.6 | 68.8 | 69.9 |
| 1600 | 58.4 | 72.2 | 68.3 | 68.9 | 79.1 | 63.1 | 72.0 | 67.7 | 68.3 | 66.8 |
| 2000 | 55.7 | 71.0 | 65.4 | 69.8 | 74.6 | 59.5 | 66.5 | 66.1 | 60.7 | 66.4 |
| 2500 | 52.6 | 69.8 | 62.5 | 72.1 | 70.7 | 64.8 | 63.5 | 69.5 | 57.5 | 64.6 |
| 3150 | 51.3 | 68.2 | 59.6 | 76.3 | 67.3 | 74.4 | 62.5 | 69.0 | 56.6 | 63.2 |
| 4000 | 49.3 | 66.1 | 57.9 | 79.0 | 64.4 | 60.0 | 60.6 | 66.4 | 54.0 | 60.7 |
| 5000 | 47.6 | 63.8 | 57.3 | 80.0 | 60.4 | 58.6 | 59.7 | 65.9 | 53.7 | 57.6 |
| 6300 | 44.6 | 61.2 | 54.1 | 80.2 | 57.4 | 54.7 | 56.7 | 59.5 | 50.9 | 54.9 |
| 8000 | 44.2 | 58.8 | 52.1 | 80.1 | 53.7 | 52.9 | 56.0 | 56.1 | 48.2 | 52.4 |
| 10000 | 43.3 | 56.2 | 49.2 | 79.2 | 50.0 | 50.2 | 54.8 | 61.4 | 45.0 | 50.0 |
| L | 97.7 | 95.1 | 94.1 | 93.0 | 92.1 | 92.1 | 89.5 | 88.7 | 86.6 | 84.3 |

Tabla A.5: Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes más relevantes del Punto 5 del LHC

Anexo A. Espectros en frecuencias de los niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas de los Puntos del LHC.

| Fuentes Sonoras Punto 6 del LHC | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Hz | LW1 (dB) | LW2 (dB) | LW3 (dB) | LW4 (dB) | LW5 (dB) | LW6 (dB) | LW7 (dB) | LW8 (dB) | LW9 (dB) | LW10 (dB) |
| 125 | 71.2 | 75.7 | 83.8 | 83.5 | 59.8 | 72.2 | 69.6 | 69.0 | 72.2 | 63.4 |
| 160 | 66.0 | 68.1 | 80.3 | 82.1 | 61.4 | 64.1 | 67.6 | 73.4 | 70.0 | 65.4 |
| 200 | 86.1 | 84.4 | 84.8 | 79.7 | 59.6 | 80.5 | 74.2 | 67.0 | 68.9 | 65.3 |
| 250 | 71.2 | 71.2 | 74.7 | 78.3 | 59.0 | 67.2 | 70.4 | 66.5 | 70.0 | 69.3 |
| 315 | 82.3 | 83.3 | 79.0 | 76.7 | 58.9 | 76.9 | 73.6 | 67.8 | 65.8 | 69.8 |
| 400 | 80.0 | 82.5 | 76.7 | 75.9 | 56.7 | 66.7 | 71.1 | 68.4 | 66.8 | 69.7 |
| 500 | 83.8 | 82.0 | 73.0 | 72.6 | 76.6 | 67.4 | 72.2 | 64.9 | 67.1 | 71.0 |
| 630 | 75.2 | 75.6 | 72.5 | 70.0 | 81.5 | 68.2 | 69.8 | 65.6 | 63.8 | 69.3 |
| 800 | 73.2 | 70.5 | 71.3 | 70.5 | 56.9 | 68.1 | 69.1 | 66.6 | 65.2 | 67.8 |
| 1000 | 69.3 | 67.1 | 70.7 | 70.4 | 55.5 | 65.4 | 65.4 | 70.8 | 69.8 | 66.7 |
| 1250 | 68.5 | 66.6 | 70.4 | 66.7 | 54.7 | 61.8 | 65.3 | 70.4 | 65.1 | 66.5 |
| 1600 | 65.8 | 62.9 | 70.9 | 64.5 | 67.7 | 58.6 | 63.1 | 71.1 | 64.2 | 66.0 |
| 2000 | 67.0 | 62.6 | 70.1 | 65.3 | 59.9 | 55.0 | 65.7 | 69.9 | 69.3 | 66.3 |
| 2500 | 63.8 | 61.8 | 69.3 | 62.3 | 56.2 | 55.0 | 62.5 | 63.3 | 59.3 | 63.6 |
| 3150 | 59.5 | 59.6 | 68.6 | 59.3 | 58.5 | 52.0 | 55.1 | 62.0 | 57.4 | 60.4 |
| 4000 | 55.8 | 57.3 | 66.8 | 58.5 | 60.7 | 50.3 | 51.8 | 59.9 | 51.9 | 58.4 |
| 5000 | 54.4 | 54.8 | 65.6 | 57.7 | 63.2 | 47.0 | 51.7 | 54.9 | 48.8 | 56.5 |
| 6300 | 51.0 | 52.2 | 63.6 | 56.1 | 65.3 | 44.2 | 42.6 | 52.5 | 45.3 | 55.7 |
| 8000 | 50.3 | 48.5 | 63.8 | 54.1 | 66.8 | 41.0 | 38.7 | 47.9 | 40.8 | 52.4 |
| 10000 | 44.1 | 43.5 | 57.0 | 52.0 | 70.0 | 40.5 | 38.7 | 41.3 | 35.9 | 49.1 |
| L | 90.1 | 89.8 | 89.7 | 88.4 | 83.5 | 83.3 | 81.4 | 80.6 | 79.5 | 79.3 |

Tabla A.6: Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes más relevantes del Punto 6 del LHC

Anexo A. Espectros en frecuencias de los niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas de los Puntos del LHC.

| Fuentes Sonoras Punto 7 del LHC | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Hz | LW1 (dB) | LW2 (dB) | LW3 (dB) | LW4 (dB) | LW5 (dB) | LW6 (dB) | LW7 (dB) | LW8 (dB) | LW9 (dB) | LW10 (dB) |
| 125 | 92.6 | 92.7 | 74.7 | 82.5 | 66.4 | 78.4 | 75.6 | 66.4 | 70.7 | 74.1 |
| 160 | 95.0 | 95.3 | 79.3 | 72.1 | 61.5 | 76.6 | 67.7 | 70.5 | 56.7 | 65.1 |
| 200 | 97.7 | 96.6 | 81.9 | 65.2 | 81.8 | 72.1 | 62.1 | 72.2 | 72.2 | 61.3 |
| 250 | 94.5 | 93.8 | 77.5 | 62.6 | 63.4 | 71.1 | 61.4 | 73.1 | 55.6 | 61.7 |
| 315 | 96.3 | 94.7 | 77.3 | 61.3 | 70.2 | 69.9 | 66.6 | 69.0 | 65.9 | 62.3 |
| 400 | 93.3 | 93.0 | 79.2 | 62.0 | 60.0 | 65.7 | 78.1 | 65.8 | 61.4 | 61.7 |
| 500 | 93.0 | 91.8 | 76.6 | 58.6 | 60.4 | 63.6 | 62.6 | 66.2 | 65.3 | 59.1 |
| 630 | 92.1 | 91.2 | 82.1 | 56.2 | 70.6 | 60.8 | 63.2 | 63.1 | 53.7 | 57.1 |
| 800 | 90.4 | 89.4 | 75.5 | 57.0 | 67.7 | 59.8 | 69.2 | 66.0 | 49.2 | 55.1 |
| 1000 | 89.7 | 88.3 | 74.1 | 56.8 | 59.3 | 59.3 | 65.0 | 63.6 | 48.8 | 52.8 |
| 1250 | 89.0 | 87.2 | 72.1 | 60.2 | 58.9 | 59.4 | 63.7 | 64.7 | 51.4 | 51.6 |
| 1600 | 87.6 | 85.7 | 70.1 | 62.8 | 58.7 | 61.5 | 62.5 | 62.9 | 53.1 | 49.5 |
| 2000 | 86.3 | 84.6 | 69.7 | 55.9 | 57.7 | 56.8 | 60.7 | 61.1 | 48.4 | 45.8 |
| 2500 | 85.3 | 83.3 | 71.3 | 49.1 | 55.2 | 55.1 | 58.9 | 60.2 | 47.1 | 44.6 |
| 3150 | 83.3 | 81.6 | 68.8 | 45.6 | 57.6 | 52.1 | 55.9 | 59.5 | 53.8 | 44.3 |
| 4000 | 80.2 | 77.5 | 66.9 | 43.7 | 51.1 | 47.9 | 53.8 | 60.1 | 44.1 | 42.5 |
| 5000 | 76.6 | 73.8 | 67.4 | 41.2 | 45.5 | 43.7 | 49.5 | 55.0 | 40.3 | 38.1 |
| 6300 | 74.3 | 72.0 | 66.2 | 38.5 | 46.6 | 39.3 | 45.3 | 53.0 | 36.5 | 36.2 |
| 8000 | 69.9 | 66.8 | 64.9 | 36.8 | 40.2 | 35.7 | 40.8 | 48.6 | 37.4 | 33.9 |
| 10000 | 66.2 | 63.0 | 62.8 | 36.4 | 35.4 | 32.0 | 38.6 | 47.1 | 36.3 | 29.9 |
| L | 104.5 | 103.7 | 89.1 | 83.2 | 82.9 | 82.2 | 81.4 | 79.4 | 75.9 | 75.7 |

Tabla A.7: Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes más relevantes del Punto 7 del LHC

Anexo A. Espectros en frecuencias de los niveles de potencia acústica de las 10 fuentes sonoras más significativas de los Puntos del LHC.

| Fuentes Sonoras Punto 8 del LHC | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Hz | LW1 (dB) | LW2 (dB) | LW3 (dB) | LW4 (dB) | LW5 (dB) | LW6 (dB) | LW7 (dB) | LW8 (dB) | LW9 (dB) | LW10 (dB) |
| 125 | 88.4 | 66.7 | 64.3 | 81.5 | 61.2 | 73.0 | 74.4 | 68.5 | 54.0 | 69.6 |
| 160 | 75.2 | 72.1 | 68.1 | 80.0 | 59.7 | 65.8 | 71.8 | 71.2 | 56.5 | 67.6 |
| 200 | 84.5 | 86.5 | 83.0 | 77.7 | 67.9 | 84.1 | 83.0 | 80.2 | 67.3 | 74.2 |
| 250 | 79.2 | 70.8 | 69.7 | 76.2 | 59.5 | 67.2 | 65.1 | 65.7 | 59.8 | 70.4 |
| 315 | 91.4 | 81.9 | 69.4 | 74.7 | 58.9 | 72.2 | 67.5 | 76.1 | 65.9 | 73.6 |
| 400 | 88.6 | 75.7 | 81.6 | 73.9 | 69.0 | 65.6 | 66.1 | 66.6 | 80.5 | 71.1 |
| 500 | 81.4 | 67.8 | 70.8 | 70.6 | 58.1 | 64.8 | 66.3 | 66.3 | 66.0 | 72.2 |
| 630 | 77.7 | 65.6 | 79.3 | 68.0 | 64.3 | 67.2 | 65.8 | 63.4 | 68.6 | 69.8 |
| 800 | 73.3 | 59.4 | 73.3 | 68.5 | 60.3 | 66.5 | 57.9 | 57.8 | 68.9 | 69.1 |
| 1000 | 73.7 | 56.9 | 71.5 | 68.4 | 55.2 | 64.0 | 57.0 | 56.9 | 63.8 | 65.4 |
| 1250 | 72.5 | 58.7 | 68.4 | 64.6 | 56.2 | 59.7 | 57.2 | 56.6 | 62.5 | 65.3 |
| 1600 | 73.6 | 56.1 | 72.1 | 62.5 | 62.6 | 58.7 | 57.8 | 56.4 | 58.8 | 63.1 |
| 2000 | 72.8 | 55.4 | 73.2 | 63.2 | 63.7 | 57.7 | 59.2 | 58.3 | 59.4 | 65.7 |
| 2500 | 71.8 | 56.7 | 70.4 | 60.3 | 62.9 | 53.5 | 60.8 | 59.8 | 64.9 | 62.5 |
| 3150 | 70.6 | 58.0 | 73.3 | 57.2 | 66.3 | 50.9 | 62.4 | 61.6 | 57.9 | 55.1 |
| 4000 | 69.7 | 57.4 | 73.6 | 56.4 | 67.5 | 48.9 | 63.2 | 62.6 | 59.9 | 51.8 |
| 5000 | 67.5 | 57.1 | 70.6 | 55.7 | 67.8 | 47.0 | 63.5 | 62.8 | 59.0 | 51.7 |
| 6300 | 65.0 | 55.9 | 73.5 | 54.0 | 67.8 | 43.4 | 62.8 | 62.2 | 55.8 | 42.6 |
| 8000 | 63.2 | 53.5 | 69.6 | 52.0 | 81.1 | 40.7 | 60.8 | 60.2 | 63.0 | 38.7 |
| 10000 | 59.3 | 49.7 | 62.6 | 49.9 | 82.2 | 37.0 | 57.6 | 56.9 | 62.4 | 38.7 |
| L | 95.5 | 88.4 | 88.1 | 86.4 | 85.4 | 85.1 | 84.4 | 82.8 | 82.0 | 81.4 |

Tabla A.8: Niveles de potencia acústica de las 10 fuentes más relevantes del Punto 8 del LHC

Anexo B

Niveles de Presión Acústica y Factores de Directividad de la Fuente Bajo Estudio en el Ensayo de Directividad

Anexo B. Niveles de Presión Acústica y Factores de Directividad de la Fuente Bajo Estudio en el Ensayo de Directividad

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Lp1 (dBA) | Lp2 (dBA) | Lp3 (dBA) | Lp4 (dBA) | Lp5 (dBA) | LP6 (dBA) | Lp7 (dBA) | Lp8 (dBA) | Lp9 (dBA) | Lp10 (dBA) | Lp11 (dBA) | Lp12 (dBA) | Lp13 (dBA) | Lp14 (dBA) | Lp15 (dBA) | Lp16 (dBA) | Lp17 (dBA) | Lp18 (dBA) |
| 61.4 | 60.8 | 62.4 | 63.1 | 63.2 | 63.6 | 63.1 | 64.6 | 63.6 | 63.8 | 62.1 | 60.9 | 60.5 | 60.4 | 61.0 | 62.2 | 61.4 | 62.0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Lp19 (dBA) | Lp20 (dBA) | Lp21 (dBA) | Lp22 (dBA) | Lp23 (dBA) | Lp24 (dBA) | Lp25 (dBA) | Lp26 (dBA) | Lp27 (dBA) | Lp28 (dBA) | Lp29 (dBA) | Lp30 (dBA) | Lp31 (dBA) | Lp32 (dBA) | Lp33 (dBA) | Lp34 (dBA) | Lp35 (dBA) |
| 61.9 | 61.4 | 61.2 | 60.2 | 59.1 | 58.5 | 58.3 | 57.5 | 56.2 | 55.7 | 53.8 | 52.1 | 50.4 | 50.2 | 50.9 | 49.9 | 49.2 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Lp36 (dBA) | Lp37 (dBA) | Lp38 (dBA) | Lp39 (dBA) | Lp40 (dBA) | LP41 (dBA) | Lp42 (dBA) | Lp43 (dBA) | Lp44 (dBA) | Lp45 (dBA) | Lp46 (dBA) | Lp47 (dBA) | Lp48 (dBA) | Lp49 (dBA) | Lp50 (dBA) | Lp51 (dBA) | Lp52 (dBA) | Lp53 (dBA) |
| 63.6 | 63.9 | 64.2 | 64.1 | 64.1 | 63.3 | 64.5 | 64.3 | 64.3 | 62.0 | 61.8 | 61.8 | 61.9 | 61.9 | 61.7 | 61.5 | 61.4 | 61.7 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Lp54 (dBA) | Lp55 (dBA) | Lp56 (dBA) | Lp57 (dBA) | Lp58 (dBA) | Lp59 (dBA) | Lp60 (dBA) | Lp61 (dBA) | Lp62 (dBA) | Lp63 (dBA) | Lp64 (dBA) | Lp65 (dBA) | Lp66 (dBA) | Lp67 (dBA) | Lp68 (dBA) | Lp69 (dBA) | Lp70 (dBA) |
| 61.6 | 61.3 | 61.0 | 60.7 | 59.4 | 58.3 | 57.4 | 57.0 | 56.6 | 55.9 | 55.3 | 54.4 | 53.2 | 52.5 | 52.0 | 50.0 | 49.3 |

Tabla B.1: Niveles de presión acústica ponderados A para las posiciones 1-70 del micrófono

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Q11 | Q12 | Q13 | Q14 | Q15 | Q16 | Q17 | Q18 |
| 4.9 | 4.6 | 2.5 | 2.9 | 3.0 | 2.8 | 3.3 | 3.1 | 3.1 | 3.5 | 3.8 | 3.6 | 3.3 | 3.0 | 3.0 | 2.4 | 1.9 | 1.5 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q19 | Q20 | Q21 | Q22 | Q23 | Q24 | Q25 | Q26 | Q27 | Q28 | Q29 | Q30 | Q31 | Q32 | Q33 | Q34 | Q35 |
| 1.1 | 1.0 | 0.9 | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q36 | Q37 | Q38 | Q39 | Q40 | Q41 | Q42 | Q43 | Q44 | Q45 | Q46 | Q47 | Q48 | Q49 | Q50 | Q51 | Q52 | Q53 |
| 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.9 | 2.6 | 3.1 | 3.4 | 3.2 | 3.2 | 3.3 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.3 | 2.9 | 2.7 | 2.5 | 2.5 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q54 | Q55 | Q56 | Q57 | Q58 | Q59 | Q60 | Q61 | Q62 | Q63 | Q64 | Q65 | Q66 | Q67 | Q68 | Q69 | Q70 |
| 2.1 | 1.9 | 1.6 | 1.4 | 1.5 | 1.5 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.0 | 1.0 | 1.2 | 0.9 | 0.7 | 0.8 | 0.5 | 0.5 |

Tabla B.2: Factores de directividad para las frecuencias 50-63-80 Hz en las posiciones 1-70 del micrófono

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Q11 | Q12 | Q13 | Q14 | Q15 | Q16 | Q17 | Q18 |
| 3.1 | 3.1 | 2.2 | 2.7 | 2.7 | 2.6 | 3.2 | 2.6 | 2.7 | 3.2 | 2.4 | 2.4 | 1.8 | 2.2 | 2.2 | 2.4 | 2.3 | 2.1 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q19 | Q20 | Q21 | Q22 | Q23 | Q24 | Q25 | Q26 | Q27 | Q28 | Q29 | Q30 | Q31 | Q32 | Q33 | Q34 | Q35 |
| 2.1 | 2.0 | 1.7 | 1.5 | 1.3 | 1.2 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 1.0 | 1.8 | 1.5 | 1.8 | 1.5 | 1.7 | 1.2 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q36 | Q37 | Q38 | Q39 | Q40 | Q41 | Q42 | Q43 | Q44 | Q45 | Q46 | Q47 | Q48 | Q49 | Q50 | Q51 | Q52 | Q53 |
| 2.0 | 2.3 | 2.7 | 3.0 | 3.5 | 4.4 | 2.9 | 2.4 | 2.1 | 1.8 | 1.7 | 2.0 | 2.1 | 2.1 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.4 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q54 | Q55 | Q56 | Q57 | Q58 | Q59 | Q60 | Q61 | Q62 | Q63 | Q64 | Q65 | Q66 | Q67 | Q68 | Q69 | Q70 |
| 2.1 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.4 | 1.4 | 1.2 | 1.4 | 1.8 | 1.6 | 1.6 | 1.7 | 1.3 | 1.1 |

Tabla B.3: Factores de directividad para las frecuencias 100-125-160 Hz en las posiciones 1-70 del micrófono

**Anexo B. Niveles de Presión Acústica y Factores de Directividad de la Fuente
Bajo Estudio en el Ensayo de Directividad**

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Q11 | Q12 | Q13 | Q14 | Q15 | Q16 | Q17 | Q18 |
| 1.5 | 1.4 | 1.4 | 2.0 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.7 | 1.6 | 2.0 | 3.6 | 3.2 | 3.5 | 2.7 | 2.5 | 3.1 | 3.6 | 3.9 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Q19 | Q20 | Q21 | Q22 | Q23 | Q24 | Q25 | Q26 | Q27 | Q28 | Q29 | Q30 | Q31 | Q32 | Q33 | Q34 | Q35 |
| 5.0 | 4.1 | 3.1 | 2.9 | 2.6 | 2.1 | 1.5 | 1.2 | 1.1 | 0.9 | 0.8 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Q36 | Q37 | Q38 | Q39 | Q40 | Q41 | Q42 | Q43 | Q44 | Q45 | Q46 | Q47 | Q48 | Q49 | Q50 | Q51 | Q52 | Q53 |
| 2.9 | 3.5 | 3.3 | 3.4 | 4.2 | 4.0 | 3.6 | 3.0 | 2.9 | 2.6 | 2.8 | 2.9 | 2.7 | 2.7 | 2.4 | 2.3 | 2.2 | 2.5 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Q54 | Q55 | Q56 | Q57 | Q58 | Q59 | Q60 | Q61 | Q62 | Q63 | Q64 | Q65 | Q66 | Q67 | Q68 | Q69 | Q70 |
| 2.4 | 2.3 | 2.0 | 1.7 | 1.3 | 0.9 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.2 |

Tabla B.4: Factores de directividad para las frecuencias 200-250-315 Hz en las posiciones 1-70 del micrófono

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Q11 | Q12 | Q13 | Q14 | Q15 | Q16 | Q17 | Q18 |
| 2.7 | 2.2 | 4.1 | 3.5 | 3.8 | 5.0 | 3.8 | 5.0 | 4.3 | 3.8 | 1.4 | 1.1 | 0.9 | 1.1 | 1.7 | 3.0 | 2.3 | 2.7 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Q19 | Q20 | Q21 | Q22 | Q23 | Q24 | Q25 | Q26 | Q27 | Q28 | Q29 | Q30 | Q31 | Q32 | Q33 | Q34 | Q35 |
| 2.5 | 2.3 | 2.8 | 1.9 | 1.5 | 1.1 | 1.3 | 1.1 | 0.8 | 0.7 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.2 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Q36 | Q37 | Q38 | Q39 | Q40 | Q41 | Q42 | Q43 | Q44 | Q45 | Q46 | Q47 | Q48 | Q49 | Q50 | Q51 | Q52 | Q53 |
| 3.7 | 3.9 | 4.2 | 4.2 | 4.0 | 2.9 | 4.9 | 4.9 | 4.7 | 2.2 | 2.0 | 1.9 | 2.1 | 2.0 | 1.7 | 1.7 | 1.8 | 1.8 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Q54 | Q55 | Q56 | Q57 | Q58 | Q59 | Q60 | Q61 | Q62 | Q63 | Q64 | Q65 | Q66 | Q67 | Q68 | Q69 | Q70 |
| 1.9 | 1.8 | 1.8 | 1.9 | 1.4 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 0.8 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |

Tabla B.5: Factores de directividad para las frecuencias 400-500-630 Hz en las posiciones 1-70 del micrófono

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Q11 | Q12 | Q13 | Q14 | Q15 | Q16 | Q17 | Q18 |
| 2.2 | 2.7 | 3.4 | 3.8 | 4.4 | 4.0 | 5.3 | 4.0 | 3.6 | 4.5 | 4.8 | 2.9 | 2.2 | 2.4 | 2.3 | 1.8 | 1.8 | 2.3 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Q19 | Q20 | Q21 | Q22 | Q23 | Q24 | Q25 | Q26 | Q27 | Q28 | Q29 | Q30 | Q31 | Q32 | Q33 | Q34 | Q35 |
| 2.3 | 1.8 | 1.4 | 1.2 | 0.9 | 1.0 | 0.7 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Q36 | Q37 | Q38 | Q39 | Q40 | Q41 | Q42 | Q43 | Q44 | Q45 | Q46 | Q47 | Q48 | Q49 | Q50 | Q51 | Q52 | Q53 |
| 4.1 | 4.3 | 5.0 | 4.5 | 4.7 | 3.5 | 3.6 | 3.1 | 4.0 | 2.4 | 2.6 | 2.5 | 2.0 | 2.3 | 2.7 | 2.1 | 2.0 | 2.2 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Q54 | Q55 | Q56 | Q57 | Q58 | Q59 | Q60 | Q61 | Q62 | Q63 | Q64 | Q65 | Q66 | Q67 | Q68 | Q69 | Q70 |
| 1.9 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.0 | 1.1 | 0.8 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |

Tabla B.6: Factores de directividad para las frecuencias 800-1000-1250 Hz en las posiciones 1-70 del micrófono

**Anexo B. Niveles de Presión Acústica y Factores de Directividad de la Fuente
Bajo Estudio en el Ensayo de Directividad**

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Q11 | Q12 | Q13 | Q14 | Q15 | Q16 | Q17 | Q18 |
| 3.1 | 2.0 | 4.2 | 5.3 | 4.3 | 3.2 | 3.2 | 3.2 | 2.8 | 2.5 | 2.4 | 2.4 | 2.9 | 2.3 | 2.6 | 2.6 | 2.3 | 2.7 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q19 | Q20 | Q21 | Q22 | Q23 | Q24 | Q25 | Q26 | Q27 | Q28 | Q29 | Q30 | Q31 | Q32 | Q33 | Q34 | Q35 |
| 2.8 | 2.8 | 2.5 | 2.0 | 1.4 | 1.2 | 0.9 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q36 | Q37 | Q38 | Q39 | Q40 | Q41 | Q42 | Q43 | Q44 | Q45 | Q46 | Q47 | Q48 | Q49 | Q50 | Q51 | Q52 | Q53 |
| 4.3 | 4.5 | 4.2 | 4.0 | 3.4 | 3.4 | 3.1 | 2.9 | 3.1 | 2.3 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.3 | 2.4 | 2.4 | 2.3 | 2.7 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q54 | Q55 | Q56 | Q57 | Q58 | Q59 | Q60 | Q61 | Q62 | Q63 | Q64 | Q65 | Q66 | Q67 | Q68 | Q69 | Q70 |
| 2.6 | 2.4 | 2.1 | 1.6 | 1.3 | 1.3 | 1.0 | 0.8 | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |

Tabla B.7: Factores de directividad para las frecuencias 1600-2000-2500 Hz en las posiciones 1-70 del micrófono

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Q11 | Q12 | Q13 | Q14 | Q15 | Q16 | Q17 | Q18 |
| 2.3 | 1.8 | 3.2 | 4.1 | 3.7 | 3.1 | 3.7 | 3.9 | 3.6 | 3.2 | 3.0 | 3.1 | 2.9 | 2.7 | 2.3 | 2.6 | 2.4 | 2.4 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q19 | Q20 | Q21 | Q22 | Q23 | Q24 | Q25 | Q26 | Q27 | Q28 | Q29 | Q30 | Q31 | Q32 | Q33 | Q34 | Q35 |
| 2.5 | 2.4 | 2.6 | 2.0 | 1.7 | 1.3 | 1.1 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q36 | Q37 | Q38 | Q39 | Q40 | Q41 | Q42 | Q43 | Q44 | Q45 | Q46 | Q47 | Q48 | Q49 | Q50 | Q51 | Q52 | Q53 |
| 3.6 | 3.6 | 3.5 | 3.4 | 3.7 | 3.4 | 3.7 | 2.9 | 2.6 | 2.4 | 2.5 | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 3.0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q54 | Q55 | Q56 | Q57 | Q58 | Q59 | Q60 | Q61 | Q62 | Q63 | Q64 | Q65 | Q66 | Q67 | Q68 | Q69 | Q70 |
| 2.5 | 2.6 | 2.3 | 2.0 | 1.8 | 1.2 | 1.0 | 0.9 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |

Tabla B.8: Factores de directividad para las frecuencias 3150-4000-5000 Hz en las posiciones 1-70 del micrófono

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Q11 | Q12 | Q13 | Q14 | Q15 | Q16 | Q17 | Q18 |
| 2.1 | 1.7 | 2.9 | 4.4 | 3.9 | 3.9 | 4.0 | 3.8 | 3.4 | 3.2 | 3.3 | 2.9 | 3.2 | 3.2 | 2.5 | 2.3 | 2.1 | 2.3 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q19 | Q20 | Q21 | Q22 | Q23 | Q24 | Q25 | Q26 | Q27 | Q28 | Q29 | Q30 | Q31 | Q32 | Q33 | Q34 | Q35 |
| 2.5 | 2.1 | 2.1 | 1.9 | 1.5 | 1.3 | 1.0 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q36 | Q37 | Q38 | Q39 | Q40 | Q41 | Q42 | Q43 | Q44 | Q45 | Q46 | Q47 | Q48 | Q49 | Q50 | Q51 | Q52 | Q53 |
| 2.8 | 3.2 | 3.1 | 3.2 | 3.8 | 2.9 | 3.2 | 2.7 | 2.8 | 3.1 | 3.2 | 3.4 | 3.3 | 3.2 | 3.0 | 2.9 | 2.5 | 2.5 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q54 | Q55 | Q56 | Q57 | Q58 | Q59 | Q60 | Q61 | Q62 | Q63 | Q64 | Q65 | Q66 | Q67 | Q68 | Q69 | Q70 |
| 2.2 | 2.1 | 2.3 | 2.0 | 1.6 | 1.2 | 1.0 | 0.7 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |

Tabla B.9: Factores de directividad para las frecuencias 6300-8000-10000 Hz en las posiciones 1-70 del micrófono

Anexo C

Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | F'''' | | Lw_{Id} (F,F') | Lw_{Ir1} (F'',F''') |
|------------|-------|---|-----------|---|------------|--|-------------|--|--------------|--|---------------|---------------------|--------------------------|
| | | $d = 6,53 \text{ m}$ $\cos \theta = -0,95$ | L_{Id1} | $d = 6,71 \text{ m}$ $\cos \theta = -0,92$ | L_{Id1}' | $d = 9,27 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,98$ | L_{Id1}'' | $d = 9,40 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,96$ | L_{Id1}''' | $d = 9,40 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,96$ | L_{Id1}'''' | | |
| (Hz) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 64.6 | 64.4(-) | 64.4 | 64.4 | 61.6 | 61.6 | 61.4 | 61.4 | 61.3 | 61.3 | 65.0(-) | 64.4 |
| 160 | 97.6 | 70.3 | 70.1(-) | 70.1 | 69.7(-) | 67.3 | 67.3 | 67.2 | 67.2 | 67.0 | 67.0 | 70.7(-) | 70.1 |
| 200 | 101.0 | 73.7 | 73.5(-) | 73.5 | 73.1(-) | 70.6 | 70.6 | 70.5 | 70.5 | 70.4 | 70.4 | 74.1(-) | 73.5 |
| 250 | 99.2 | 71.9 | 71.7(-) | 71.7 | 71.3(-) | 68.9 | 68.9 | 68.7 | 68.7 | 68.6 | 68.6 | 72.3(-) | 71.7 |
| 315 | 97.9 | 70.6 | 70.4(-) | 70.4 | 70.1(-) | 67.6 | 67.6 | 67.5 | 67.5 | 67.3 | 67.3 | 71.0(-) | 70.4 |
| 400 | 96.3 | 69.1 | 68.8(-) | 68.8 | 68.5(-) | 66.0 | 66.0 | 65.9 | 65.9 | 65.7 | 65.7 | 69.4(-) | 68.8 |
| 500 | 94.4 | 67.1 | 66.9(-) | 66.9 | 66.5(-) | 64.0 | 64.0 | 63.9 | 63.9 | 63.8 | 63.8 | 67.4(-) | 66.9 |
| 630 | 91.3 | 64.0 | 63.8(-) | 63.8 | 63.4(-) | 61.0 | 61.0 | 60.9 | 60.9 | 60.7 | 60.7 | 64.4(-) | 63.8 |
| 800 | 90.4 | 63.1 | 62.9(-) | 62.9 | 62.6(-) | 60.1 | 60.1 | 60.0 | 60.0 | 59.8 | 59.8 | 63.5(-) | 62.9 |
| 1000 | 90.1 | 62.9 | 62.6(-) | 62.6 | 62.3(-) | 59.8 | 59.8 | 59.7 | 59.7 | 59.5 | 59.5 | 63.2(-) | 62.6 |
| 1250 | 88.1 | 60.8 | 60.6(-) | 60.6 | 60.2(-) | 57.8 | 57.8 | 57.7 | 57.7 | 57.5 | 57.5 | 61.2(-) | 60.6 |
| 1600 | 89.5 | 62.2 | 62.0(-) | 61.9 | 61.6(-) | 59.1 | 59.1 | 59.0 | 59.0 | 58.8 | 58.8 | 62.5(-) | 61.9 |
| 2000 | 89.4 | 62.1 | 61.9(-) | 61.9 | 61.6(-) | 59.1 | 59.1 | 59.0 | 59.0 | 58.8 | 58.8 | 62.5(-) | 61.9 |
| 2500 | 82.9 | 55.6 | 55.4(-) | 55.4 | 55.1(-) | 52.6 | 52.6 | 52.5 | 52.5 | 52.3 | 52.3 | 56.0(-) | 55.4 |
| 3150 | 79.2 | 51.9 | 51.7(-) | 51.6 | 51.3(-) | 48.8 | 48.8 | 48.7 | 48.7 | 48.5 | 48.5 | 52.2(-) | 51.6 |
| 4000 | 75.6 | 48.3 | 48.1(-) | 48.1 | 47.8(-) | 45.3 | 45.3 | 45.2 | 45.2 | 45.0 | 45.0 | 48.7(-) | 48.1 |
| 5000 | 78.3 | 51.0 | 50.8(-) | 50.8 | 50.4(-) | 48.0 | 48.0 | 47.9 | 47.9 | 47.7 | 47.7 | 51.4(-) | 50.8 |
| 6300 | 79.6 | 52.3 | 52.1(-) | 52.1 | 51.7(-) | 49.3 | 49.3 | 49.1 | 49.1 | 49.0 | 49.0 | 52.7(-) | 52.1 |
| 8000 | 81.8 | 54.5 | 54.3(-) | 54.3 | 54.0(-) | 51.5 | 51.5 | 51.4 | 51.4 | 51.2 | 51.2 | 54.9(-) | 54.3 |
| 10000 | 75.4 | 48.2 | 47.9(-) | 47.9 | 47.6(-) | 45.1 | 45.1 | 45.0 | 45.0 | 44.8 | 44.8 | 48.5(-) | 47.9 |

Tabla C.1: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 1

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Ir-2} (F'', F''') |
|------------|-------|---|-----------|---|------------|--|-------------|--|--------------|----------------------------|
| | | $d = 6,45 \text{ m}$ $\cos \theta = -0,96$ | Ll_{f2} | $d = 6,98 \text{ m}$ $\cos \theta = -0,89$ | Ll_{f2}' | $d = 9,21 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,98$ | Ll_{f2}'' | $d = 9,59 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,94$ | Ll_{f2}''' | |
| (Hz) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 64.7 | 64.5(-) | 64.0 | 63.5(-) | 61.6 | 61.5 | 61.3 | 61.0 | 64.8(-) |
| 160 | 97.6 | 70.4 | 70.3(-) | 69.7 | 69.2(-) | 67.3 | 67.2 | 67.0 | 66.7 | 70.5(-) |
| 200 | 101.0 | 73.8 | 73.6(-) | 73.1 | 72.6(-) | 70.7 | 70.6 | 70.3 | 70.1 | 73.9(-) |
| 250 | 99.2 | 72.0 | 71.8(-) | 71.3 | 70.8(-) | 68.9 | 68.8 | 68.6 | 68.3 | 72.1(-) |
| 315 | 97.9 | 70.7 | 70.6(-) | 70.1 | 69.5(-) | 67.7 | 67.6 | 67.3 | 67.0 | 70.8(-) |
| 400 | 96.3 | 69.2 | 69.0(-) | 68.5 | 67.9(-) | 66.1 | 66.0 | 65.7 | 65.4 | 69.3(-) |
| 500 | 94.4 | 67.2 | 67.0(-) | 66.5 | 66.0(-) | 64.1 | 64.0 | 63.7 | 63.5 | 67.3(-) |
| 630 | 91.3 | 64.1 | 64.0(-) | 63.4 | 62.9(-) | 61.0 | 60.9 | 60.7 | 60.4 | 64.2(-) |
| 800 | 90.4 | 63.3 | 63.1(-) | 62.6 | 62.0(-) | 60.2 | 60.1 | 59.8 | 59.5 | 63.4(-) |
| 1000 | 90.1 | 63.0 | 62.8(-) | 62.3 | 61.7(-) | 59.9 | 59.8 | 59.5 | 59.2 | 63.1(-) |
| 1250 | 88.1 | 60.9 | 60.8(-) | 60.2 | 59.7(-) | 57.8 | 57.7 | 57.5 | 57.2 | 61.0(-) |
| 1600 | 89.5 | 62.3 | 62.1(-) | 61.6 | 61.1(-) | 59.2 | 59.1 | 58.8 | 58.6 | 62.4(-) |
| 2000 | 89.4 | 62.2 | 62.1(-) | 61.5 | 61.0(-) | 59.1 | 59.1 | 58.8 | 58.5 | 62.3(-) |
| 2500 | 82.9 | 55.7 | 55.6(-) | 55.1 | 54.5(-) | 52.6 | 52.6 | 52.3 | 52.0 | 55.8(-) |
| 3150 | 79.2 | 52.0 | 51.8(-) | 51.3 | 50.8(-) | 48.9 | 48.8 | 48.5 | 48.3 | 52.1(-) |
| 4000 | 75.6 | 48.5 | 48.3(-) | 47.8 | 47.2(-) | 45.4 | 45.3 | 45.0 | 44.7 | 48.6(-) |
| 5000 | 78.3 | 51.1 | 51.0(-) | 50.4 | 49.9(-) | 48.0 | 47.9 | 47.7 | 47.4 | 51.2(-) |
| 6300 | 79.6 | 52.4 | 52.2(-) | 51.7 | 51.2(-) | 49.3 | 49.2 | 49.0 | 48.7 | 52.5(-) |
| 8000 | 81.8 | 54.6 | 54.5(-) | 53.9 | 53.4(-) | 51.5 | 51.5 | 51.2 | 50.9 | 54.7(-) |
| 10000 | 75.4 | 48.3 | 48.1(-) | 47.6 | 47.1(-) | 45.2 | 45.1 | 44.8 | 44.6 | 48.4(-) |

Tabla C.2: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 2

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Ir3} (F'', F''') |
|------------|-------|---|----------|---|-----------|--|------------|--|-------------|---------------------------|
| | | $d = 6,47 \text{ m}$ $\cos \theta = -0,96$ | L_{I3} | $d = 7,34 \text{ m}$ $\cos \theta = -0,84$ | L_{I3}' | $d = 9,23 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,98$ | L_{I3}'' | $d = 9,86 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,92$ | L_{I3}''' | |
| (Hz) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 64.7 | 64.5(-) | 63.6 | 62.8(-) | 61.6 | 61.5 | 61.0 | 60.6 | 64.5(-) |
| 160 | 97.6 | 70.4 | 70.2(-) | 69.3 | 68.6(-) | 67.3 | 67.2 | 66.7 | 66.4 | 70.2(-) |
| 200 | 101.0 | 73.8 | 73.6(-) | 72.7 | 71.9(-) | 70.7 | 70.6 | 70.1 | 69.7 | 73.6(-) |
| 250 | 99.2 | 72.0 | 71.8(-) | 70.9 | 70.1(-) | 68.9 | 68.8 | 68.3 | 67.9 | 71.8(-) |
| 315 | 97.9 | 70.7 | 70.5(-) | 69.6 | 68.9(-) | 67.6 | 67.5 | 67.1 | 66.7 | 70.5(-) |
| 400 | 96.3 | 69.1 | 68.9(-) | 68.0 | 67.3(-) | 66.0 | 66.0 | 65.5 | 65.1 | 69.0(-) |
| 500 | 94.4 | 67.2 | 67.0(-) | 66.1 | 65.3(-) | 64.1 | 64.0 | 63.5 | 63.1 | 67.0(-) |
| 630 | 91.3 | 64.1 | 63.9(-) | 63.0 | 62.3(-) | 61.0 | 60.9 | 60.4 | 60.1 | 63.9(-) |
| 800 | 90.4 | 63.2 | 63.0(-) | 62.1 | 61.4(-) | 60.1 | 60.0 | 59.6 | 59.2 | 63.0(-) |
| 1000 | 90.1 | 62.9 | 62.7(-) | 61.8 | 61.1(-) | 59.8 | 59.8 | 59.3 | 58.9 | 62.7(-) |
| 1250 | 88.1 | 60.9 | 60.7(-) | 59.8 | 59.1(-) | 57.8 | 57.7 | 57.2 | 56.9 | 60.7(-) |
| 1600 | 89.5 | 62.2 | 62.1(-) | 61.2 | 60.4(-) | 59.2 | 59.1 | 58.6 | 58.2 | 62.1(-) |
| 2000 | 89.4 | 62.2 | 62.0(-) | 61.1 | 60.4(-) | 59.1 | 59.0 | 58.6 | 58.2 | 62.0(-) |
| 2500 | 82.9 | 55.7 | 55.5(-) | 54.6 | 53.9(-) | 52.6 | 52.5 | 52.1 | 51.7 | 55.5(-) |
| 3150 | 79.2 | 51.9 | 51.8(-) | 50.9 | 50.1(-) | 48.9 | 48.8 | 48.3 | 47.9 | 51.8(-) |
| 4000 | 75.6 | 48.4 | 48.2(-) | 47.3 | 46.6(-) | 45.3 | 45.3 | 44.8 | 44.4 | 48.2(-) |
| 5000 | 78.3 | 51.1 | 50.9(-) | 50.0 | 49.3(-) | 48.0 | 47.9 | 47.4 | 47.1 | 50.9(-) |
| 6300 | 79.6 | 52.4 | 52.2(-) | 51.3 | 50.5(-) | 49.3 | 49.2 | 48.7 | 48.3 | 52.2(-) |
| 8000 | 81.8 | 54.6 | 54.4(-) | 53.5 | 52.8(-) | 51.5 | 51.4 | 51.0 | 50.6 | 54.4(-) |
| 10000 | 75.4 | 48.2 | 48.0(-) | 47.1 | 46.4(-) | 45.1 | 45.1 | 44.6 | 44.2 | 48.1(-) |
| | | | | | | | | | | 47.7 |

Tabla C.3: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 3

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | F'''', | | Lw _{Ir-4} (F'', F''') |
|------------|-------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| | | d = 6,76 m cos θ = -0,92 | LL _{Id4} | d = 6,93 m cos θ = -0,89 | LL _{I4'} | LL _{Id4'} | d = 9,43 m cos θ = 0,96 | LL _{I4''} | LL _{I4''} | d = 9,56 m cos θ = 0,95 | LL _{I4'''} | |
| (Hz) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 64.3 | 63.9(-) | 64.1 | 63.6(-) | 64.1 | 61.4 | 61.2 | 61.3 | 61.0 | 64.5(-) | 64.1 |
| 160 | 97.6 | 70.0 | 69.6(-) | 69.8 | 69.3(-) | 69.8 | 67.1 | 66.9 | 67.0 | 66.8 | 70.2(-) | 69.9 |
| 200 | 101.0 | 73.4 | 73.0(-) | 73.2 | 72.7(-) | 73.2 | 70.5 | 70.3 | 70.4 | 70.1 | 73.6(-) | 73.2 |
| 250 | 99.2 | 71.6 | 71.2(-) | 71.4 | 70.9(-) | 71.4 | 68.7 | 68.5 | 68.6 | 68.3 | 71.8(-) | 71.4 |
| 315 | 97.9 | 70.3 | 70.0(-) | 70.1 | 69.6(-) | 70.1 | 67.4 | 67.3 | 67.3 | 67.1 | 70.6(-) | 70.2 |
| 400 | 96.3 | 68.8 | 68.4(-) | 68.5 | 68.0(-) | 68.5 | 65.9 | 65.7 | 65.7 | 65.5 | 69.0(-) | 68.6 |
| 500 | 94.4 | 66.8 | 66.4(-) | 66.6 | 66.1(-) | 66.6 | 63.9 | 63.7 | 63.8 | 63.5 | 67.0(-) | 66.6 |
| 630 | 91.3 | 63.7 | 63.3(-) | 63.5 | 63.0(-) | 63.5 | 60.8 | 60.6 | 60.7 | 60.5 | 63.9(-) | 63.6 |
| 800 | 90.4 | 62.8 | 62.5(-) | 62.6 | 62.1(-) | 62.6 | 60.0 | 59.8 | 59.8 | 59.6 | 63.1(-) | 62.7 |
| 1000 | 90.1 | 62.6 | 62.2(-) | 62.3 | 61.8(-) | 62.3 | 59.7 | 59.5 | 59.5 | 59.3 | 62.8(-) | 62.4 |
| 1250 | 88.1 | 60.5 | 60.1(-) | 60.3 | 59.8(-) | 60.3 | 57.6 | 57.4 | 57.5 | 57.3 | 60.7(-) | 60.4 |
| 1600 | 89.5 | 61.9 | 61.5(-) | 61.7 | 61.2(-) | 61.7 | 59.0 | 58.8 | 58.9 | 58.6 | 62.1(-) | 61.7 |
| 2000 | 89.4 | 61.8 | 61.5(-) | 61.6 | 61.1(-) | 61.6 | 58.9 | 58.8 | 58.8 | 58.6 | 62.1(-) | 61.7 |
| 2500 | 82.9 | 55.3 | 55.0(-) | 55.1 | 54.6(-) | 55.1 | 52.4 | 52.3 | 52.3 | 52.1 | 55.6(-) | 55.2 |
| 3150 | 79.2 | 51.6 | 51.2(-) | 51.4 | 50.9(-) | 51.4 | 48.7 | 48.5 | 48.6 | 48.3 | 51.8(-) | 51.4 |
| 4000 | 75.6 | 48.0 | 47.7(-) | 47.8 | 47.3(-) | 47.8 | 45.2 | 45.0 | 45.0 | 44.8 | 48.3(-) | 47.9 |
| 5000 | 78.3 | 50.7 | 50.3(-) | 50.5 | 50.0(-) | 50.5 | 47.8 | 47.6 | 47.7 | 47.5 | 50.9(-) | 50.6 |
| 6300 | 79.6 | 52.0 | 51.6(-) | 51.8 | 51.3(-) | 51.8 | 49.1 | 48.9 | 49.0 | 48.7 | 52.2(-) | 51.8 |
| 8000 | 81.8 | 54.2 | 53.9(-) | 54.0 | 53.5(-) | 54.0 | 51.3 | 51.2 | 51.2 | 51.0 | 54.5(-) | 54.1 |
| 10000 | 75.4 | 47.9 | 47.5(-) | 47.6 | 47.1(-) | 47.6 | 45.0 | 44.8 | 44.8 | 44.6 | 48.1(-) | 47.7 |

Tabla C.4: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 4

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Id5} (F'', F''') |
|------------|-------|---|-------------------|---|--------------------|--|---------------------|--|----------------------|---------------------------|
| | | $d = 6,68\text{ m}$ $\cos\theta = -0,93$ | L_{Id5} (dB) | $d = 7,20\text{ m}$ $\cos\theta = -0,86$ | L_{Id5}' (dB) | $d = 9,38\text{ m}$ $\cos\theta = 0,96$ | L_{Id5}'' (dB) | $d = 9,75\text{ m}$ $\cos\theta = 0,93$ | L_{Id5}''' (dB) | |
| (Hz) | (dB) | | | | | | | | | |
| 125 | 91.9 | 64.4 | 64.1(-) | 63.7 | 63.1(-) | 61.5 | 61.3 | 61.1 | 60.8 | 64.4(-) |
| 160 | 97.6 | 70.1 | 69.8(-) | 69.5 | 68.8(-) | 67.2 | 67.0 | 66.8 | 66.5 | 70.1(-) |
| 200 | 101.0 | 73.5 | 73.2(-) | 72.8 | 72.2(-) | 70.5 | 70.4 | 70.2 | 69.9 | 73.5(-) |
| 250 | 99.2 | 71.7 | 71.4(-) | 71.1 | 70.4(-) | 68.8 | 68.6 | 68.4 | 68.1 | 71.7(-) |
| 315 | 97.9 | 70.4 | 70.1(-) | 69.8 | 69.1(-) | 67.5 | 67.3 | 67.2 | 66.8 | 70.4(-) |
| 400 | 96.3 | 68.9 | 68.5(-) | 68.2 | 67.6(-) | 65.9 | 65.7 | 65.6 | 65.2 | 68.8(-) |
| 500 | 94.4 | 66.9 | 66.6(-) | 66.2 | 65.6(-) | 63.9 | 63.8 | 63.6 | 63.3 | 66.9(-) |
| 630 | 91.3 | 63.8 | 63.5(-) | 63.2 | 62.5(-) | 60.9 | 60.7 | 60.5 | 60.2 | 63.8(-) |
| 800 | 90.4 | 62.9 | 62.6(-) | 62.3 | 61.6(-) | 60.0 | 59.8 | 59.7 | 59.3 | 62.9(-) |
| 1000 | 90.1 | 62.6 | 62.3(-) | 62.0 | 61.4(-) | 59.7 | 59.5 | 59.4 | 59.0 | 62.6(-) |
| 1250 | 88.1 | 60.6 | 60.3(-) | 60.0 | 59.3(-) | 57.7 | 57.5 | 57.3 | 57.0 | 60.6(-) |
| 1600 | 89.5 | 62.0 | 61.7(-) | 61.3 | 60.7(-) | 59.0 | 58.9 | 58.7 | 58.4 | 62.0(-) |
| 2000 | 89.4 | 61.9 | 61.6(-) | 61.3 | 60.6(-) | 59.0 | 58.8 | 58.6 | 58.3 | 61.9(-) |
| 2500 | 82.9 | 55.4 | 55.1(-) | 54.8 | 54.1(-) | 52.5 | 52.3 | 52.2 | 51.8 | 55.4(-) |
| 3150 | 79.2 | 51.7 | 51.3(-) | 51.0 | 50.4(-) | 48.7 | 48.6 | 48.4 | 48.1 | 51.6(-) |
| 4000 | 75.6 | 48.1 | 47.8(-) | 47.5 | 46.9(-) | 45.2 | 45.0 | 44.9 | 44.5 | 48.1(-) |
| 5000 | 78.3 | 50.8 | 50.5(-) | 50.2 | 49.5(-) | 47.9 | 47.7 | 47.5 | 47.2 | 50.8(-) |
| 6300 | 79.6 | 52.1 | 51.8(-) | 51.4 | 50.8(-) | 49.2 | 49.0 | 48.8 | 48.5 | 52.1(-) |
| 8000 | 81.8 | 54.3 | 54.0(-) | 53.7 | 53.0(-) | 51.4 | 51.2 | 51.0 | 50.7 | 54.3(-) |
| 10000 | 75.4 | 48.0 | 47.6(-) | 47.3 | 46.7(-) | 45.0 | 44.9 | 44.7 | 44.3 | 47.9(-) |
| | | | | | | | | | | 47.6 |

Tabla C.5: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 5

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Id6} (F'', F''') | Lw_{Ir6} (F'', F''') |
|------------|-------|---|-----------|---|------------|--|-------------|---|--------------|---------------------------|---------------------------|
| | | $d = 6,71\text{ m}$ $\cos\theta = -0,92$ | L_{Id6} | $d = 7,55\text{ m}$ $\cos\theta = -0,82$ | L_{Id6}' | $d = 9,39\text{ m}$ $\cos\theta = 0,96$ | L_{Id6}'' | $d = 10,01\text{ m}$ $\cos\theta = 0,90$ | L_{Id6}''' | | |
| (Hz) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 64.4 | 64.0(-) | 63.3 | 62.3(-) | 61.4 | 61.3 | 60.9 | 60.4 | 64.1(-) | 63.9 |
| 160 | 97.6 | 70.1 | 69.7(-) | 69.1 | 68.2(-) | 67.2 | 67.0 | 66.6 | 66.2 | 69.8(-) | 69.6 |
| 200 | 101.0 | 73.5 | 73.1(-) | 72.4 | 71.6(-) | 70.5 | 70.4 | 70.0 | 69.5 | 73.2(-) | 73.0 |
| 250 | 99.2 | 71.7 | 71.3(-) | 70.6 | 69.8(-) | 68.7 | 68.6 | 68.2 | 67.7 | 71.4(-) | 71.2 |
| 315 | 97.9 | 70.4 | 70.1(-) | 69.4 | 68.5(-) | 67.5 | 67.3 | 66.9 | 66.5 | 70.1(-) | 69.9 |
| 400 | 96.3 | 68.8 | 68.5(-) | 67.8 | 66.9(-) | 65.9 | 65.7 | 65.3 | 64.9 | 68.5(-) | 68.3 |
| 500 | 94.4 | 66.9 | 66.5(-) | 65.8 | 65.0(-) | 63.9 | 63.8 | 63.4 | 62.9 | 66.6(-) | 66.4 |
| 630 | 91.3 | 63.8 | 63.4(-) | 62.8 | 61.9(-) | 60.9 | 60.7 | 60.3 | 59.9 | 63.5(-) | 63.3 |
| 800 | 90.4 | 62.9 | 62.6(-) | 61.9 | 61.0(-) | 60.0 | 59.8 | 59.4 | 59.0 | 62.6(-) | 62.4 |
| 1000 | 90.1 | 62.6 | 62.3(-) | 61.6 | 60.7(-) | 59.7 | 59.5 | 59.1 | 58.7 | 62.3(-) | 62.1 |
| 1250 | 88.1 | 60.6 | 60.2(-) | 59.6 | 58.7(-) | 57.7 | 57.5 | 57.1 | 56.7 | 60.3(-) | 60.1 |
| 1600 | 89.5 | 61.9 | 61.6(-) | 60.9 | 60.1(-) | 59.0 | 58.8 | 58.5 | 58.0 | 61.7(-) | 61.5 |
| 2000 | 89.4 | 61.9 | 61.6(-) | 60.9 | 60.0(-) | 59.0 | 58.8 | 58.4 | 58.0 | 61.6(-) | 61.4 |
| 2500 | 82.9 | 55.4 | 55.1(-) | 54.4 | 53.5(-) | 52.5 | 52.3 | 51.9 | 51.5 | 55.1(-) | 54.9 |
| 3150 | 79.2 | 51.6 | 51.3(-) | 50.6 | 49.8(-) | 48.7 | 48.5 | 48.2 | 47.7 | 51.4(-) | 51.2 |
| 4000 | 75.6 | 48.1 | 47.8(-) | 47.1 | 46.2(-) | 45.2 | 45.0 | 44.6 | 44.2 | 47.8(-) | 47.6 |
| 5000 | 78.3 | 50.8 | 50.4(-) | 49.8 | 48.9(-) | 47.9 | 47.7 | 47.3 | 46.9 | 50.5(-) | 50.3 |
| 6300 | 79.6 | 52.1 | 51.7(-) | 51.0 | 50.2(-) | 49.1 | 49.0 | 48.6 | 48.1 | 51.8(-) | 51.6 |
| 8000 | 81.8 | 54.3 | 54.0(-) | 53.3 | 52.4(-) | 51.4 | 51.2 | 50.8 | 50.4 | 54.0(-) | 53.8 |
| 10000 | 75.4 | 47.9 | 47.6(-) | 46.9 | 46.0(-) | 45.0 | 44.8 | 44.4 | 44.0 | 47.6(-) | 47.4 |

Tabla C.6: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 6

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Ir-7} (F'', F''') |
|------------|-------|---|-----------|---|------------|--|-------------|--|--------------|----------------------------|
| | | $d = 7,05 \text{ m}$ $\cos \theta = -0,88$ | Ll_{Ir} | $d = 7,22 \text{ m}$ $\cos \theta = -0,86$ | Ll_{Ir}' | $d = 9,65 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,94$ | Ll_{Ir}'' | $d = 9,77 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,93$ | Ll_{Ir}''' | |
| (Hz) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 63.9 | 63.4(-) | 63.7 | 63.1(-) | 60.9 | 60.9 | 61.1 | 60.8 | 64.0(-) |
| 160 | 97.6 | 69.6 | 69.1(-) | 69.4 | 68.8(-) | 66.6 | 66.6 | 66.8 | 66.5 | 69.7(-) |
| 200 | 101.0 | 73.0 | 72.5(-) | 72.8 | 72.2(-) | 70.3 | 70.0 | 70.2 | 69.9 | 73.1(-) |
| 250 | 99.2 | 71.2 | 70.7(-) | 71.0 | 70.4(-) | 68.5 | 68.2 | 68.4 | 68.1 | 71.3(-) |
| 315 | 97.9 | 70.0 | 69.4(-) | 69.8 | 69.1(-) | 67.3 | 67.0 | 67.1 | 66.8 | 70.0(-) |
| 400 | 96.3 | 68.4 | 67.8(-) | 68.2 | 67.5(-) | 65.7 | 65.4 | 65.6 | 65.2 | 68.4(-) |
| 500 | 94.4 | 66.4 | 65.9(-) | 66.2 | 65.6(-) | 63.7 | 63.4 | 63.6 | 63.3 | 66.5(-) |
| 630 | 91.3 | 63.3 | 62.8(-) | 63.1 | 62.5(-) | 60.6 | 60.3 | 60.5 | 60.2 | 63.4(-) |
| 800 | 90.4 | 62.5 | 61.9(-) | 62.3 | 61.6(-) | 59.8 | 59.5 | 59.6 | 59.3 | 62.5(-) |
| 1000 | 90.1 | 62.2 | 61.6(-) | 62.0 | 61.3(-) | 59.5 | 59.2 | 59.3 | 59.0 | 62.2(-) |
| 1250 | 88.1 | 60.1 | 59.6(-) | 59.9 | 59.3(-) | 57.4 | 57.1 | 57.3 | 57.0 | 60.2(-) |
| 1600 | 89.5 | 61.5 | 60.9(-) | 61.3 | 60.6(-) | 58.8 | 58.5 | 58.7 | 58.3 | 61.6(-) |
| 2000 | 89.4 | 61.5 | 60.9(-) | 61.3 | 60.6(-) | 58.7 | 58.5 | 58.6 | 58.3 | 61.5(-) |
| 2500 | 82.9 | 55.0 | 54.4(-) | 54.8 | 54.1(-) | 52.2 | 52.0 | 52.1 | 51.8 | 55.0(-) |
| 3150 | 79.2 | 51.2 | 50.6(-) | 51.0 | 50.3(-) | 48.5 | 48.2 | 48.4 | 48.0 | 51.2(-) |
| 4000 | 75.6 | 47.7 | 47.1(-) | 47.5 | 46.8(-) | 45.0 | 44.7 | 44.8 | 44.5 | 47.7(-) |
| 5000 | 78.3 | 50.3 | 49.8(-) | 50.1 | 49.5(-) | 47.6 | 47.3 | 47.5 | 47.2 | 50.4(-) |
| 6300 | 79.6 | 51.6 | 51.1(-) | 51.4 | 50.8(-) | 48.9 | 48.6 | 48.8 | 48.5 | 51.7(-) |
| 8000 | 81.8 | 53.9 | 53.3(-) | 53.7 | 53.0(-) | 51.1 | 50.9 | 51.0 | 50.7 | 53.9(-) |
| 10000 | 75.4 | 47.5 | 46.9(-) | 47.3 | 46.6(-) | 44.8 | 44.5 | 44.7 | 44.3 | 47.5(-) |

Tabla C.7: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 7

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Irs} (F'', F''') |
|------------|-------|---|-------------------|---|--------------------|--|---------------------|--|----------------------|---------------------------|
| | | $d = 6,98 \text{ m}$ $\cos \theta = -0,89$ | L_{Irs} (dB) | $d = 7,48 \text{ m}$ $\cos \theta = -0,83$ | L_{Irs}' (dB) | $d = 9,59 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,94$ | L_{Irs}'' (dB) | $d = 9,96 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,91$ | L_{Irs}''' (dB) | |
| (Hz) | (dB) | | | | | | | | | |
| 125 | 91.9 | 64.0 | 63.5(-) | 63.4 | 62.6(-) | 61.3 | 61.0 | 60.9 | 60.5 | 63.8(-) |
| 160 | 97.6 | 69.7 | 69.2(-) | 69.1 | 68.3(-) | 67.0 | 66.7 | 66.7 | 66.2 | 69.6(-) |
| 200 | 101.0 | 73.1 | 72.6(-) | 72.5 | 71.7(-) | 70.3 | 70.1 | 70.0 | 69.6 | 72.9(-) |
| 250 | 99.2 | 71.3 | 70.8(-) | 70.7 | 69.9(-) | 68.6 | 68.3 | 68.2 | 67.8 | 71.1(-) |
| 315 | 97.9 | 70.1 | 69.5(-) | 69.5 | 68.6(-) | 67.3 | 67.0 | 67.0 | 66.6 | 69.9(-) |
| 400 | 96.3 | 68.5 | 68.0(-) | 67.9 | 67.1(-) | 65.7 | 65.5 | 65.4 | 65.0 | 68.3(-) |
| 500 | 94.4 | 66.5 | 66.0(-) | 65.9 | 65.1(-) | 63.7 | 63.5 | 63.4 | 63.0 | 66.3(-) |
| 630 | 91.3 | 63.4 | 62.9(-) | 62.8 | 62.0(-) | 60.7 | 60.4 | 60.3 | 59.9 | 63.3(-) |
| 800 | 90.4 | 62.6 | 62.0(-) | 62.0 | 61.2(-) | 59.8 | 59.5 | 59.5 | 59.1 | 62.4(-) |
| 1000 | 90.1 | 62.3 | 61.8(-) | 61.7 | 60.9(-) | 59.5 | 59.3 | 59.2 | 58.8 | 62.1(-) |
| 1250 | 88.1 | 60.2 | 59.7(-) | 59.6 | 58.8(-) | 57.5 | 57.2 | 57.1 | 56.7 | 60.0(-) |
| 1600 | 89.5 | 61.6 | 61.1(-) | 61.0 | 60.2(-) | 58.8 | 58.6 | 58.5 | 58.1 | 61.4(-) |
| 2000 | 89.4 | 61.6 | 61.0(-) | 61.0 | 60.1(-) | 58.8 | 58.5 | 58.5 | 58.0 | 61.4(-) |
| 2500 | 82.9 | 55.1 | 54.5(-) | 54.5 | 53.6(-) | 52.3 | 52.0 | 52.0 | 51.5 | 54.9(-) |
| 3150 | 79.2 | 51.3 | 50.8(-) | 50.7 | 49.9(-) | 48.5 | 48.3 | 48.2 | 47.8 | 51.1(-) |
| 4000 | 75.6 | 47.8 | 47.3(-) | 47.2 | 46.4(-) | 45.0 | 44.7 | 44.7 | 44.3 | 47.6(-) |
| 5000 | 78.3 | 50.4 | 49.9(-) | 49.8 | 49.0(-) | 47.7 | 47.4 | 47.4 | 46.9 | 50.3(-) |
| 6300 | 79.6 | 51.7 | 51.2(-) | 51.1 | 50.3(-) | 49.0 | 48.7 | 48.6 | 48.2 | 51.5(-) |
| 8000 | 81.8 | 53.9 | 53.4(-) | 53.4 | 52.5(-) | 51.2 | 50.9 | 50.9 | 50.4 | 53.8(-) |
| 10000 | 75.4 | 47.6 | 47.1(-) | 47.0 | 46.2(-) | 44.8 | 44.6 | 44.5 | 44.1 | 47.4(-) |

Tabla C.8: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 8

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Id9} (F', F'') | Lw_{Ir9} (F'', F''') |
|------------|-------|---|-----------|---|------------|--|-------------|---|--------------|-------------------------|---------------------------|
| | | $d = 7,00\text{ m}$ $\cos\theta = -0,89$ | Ll_{f9} | $d = 7,81\text{ m}$ $\cos\theta = -0,79$ | Ll_{f9}' | $d = 9,61\text{ m}$ $\cos\theta = 0,94$ | Ll_{f9}'' | $d = 10,21\text{ m}$ $\cos\theta = 0,89$ | Ll_{f9}''' | | |
| (Hz) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 64.0 | 63.5(-) | 63.0 | 62.0(-) | 61.2 | 61.0 | 60.7 | 60.2 | 63.6(-) | 63.6 |
| 160 | 97.6 | 69.7 | 69.2(-) | 68.8 | 67.8(-) | 67.0 | 66.7 | 66.4 | 65.9 | 69.3(-) | 69.3 |
| 200 | 101.0 | 73.1 | 72.5(-) | 72.1 | 71.1(-) | 70.3 | 70.1 | 69.8 | 69.3 | 72.7(-) | 72.7 |
| 250 | 99.2 | 71.3 | 70.8(-) | 70.3 | 69.3(-) | 68.5 | 68.3 | 68.0 | 67.5 | 70.9(-) | 70.9 |
| 315 | 97.9 | 70.0 | 69.5(-) | 69.1 | 68.1(-) | 67.3 | 67.0 | 66.8 | 66.2 | 69.6(-) | 69.7 |
| 400 | 96.3 | 68.4 | 67.9(-) | 67.5 | 66.5(-) | 65.7 | 65.4 | 65.2 | 64.6 | 68.0(-) | 68.1 |
| 500 | 94.4 | 66.5 | 65.9(-) | 65.5 | 64.5(-) | 63.7 | 63.5 | 63.2 | 62.7 | 66.1(-) | 66.1 |
| 630 | 91.3 | 63.4 | 62.9(-) | 62.5 | 61.4(-) | 60.7 | 60.4 | 60.1 | 59.6 | 63.0(-) | 63.0 |
| 800 | 90.4 | 62.5 | 62.0(-) | 61.6 | 60.6(-) | 59.8 | 59.5 | 59.3 | 58.7 | 62.1(-) | 62.2 |
| 1000 | 90.1 | 62.2 | 61.7(-) | 61.3 | 60.3(-) | 59.5 | 59.2 | 59.0 | 58.4 | 61.8(-) | 61.9 |
| 1250 | 88.1 | 60.2 | 59.7(-) | 59.3 | 58.2(-) | 57.5 | 57.2 | 56.9 | 56.4 | 59.8(-) | 59.8 |
| 1600 | 89.5 | 61.6 | 61.0(-) | 60.6 | 59.6(-) | 58.8 | 58.6 | 58.3 | 57.8 | 61.1(-) | 61.2 |
| 2000 | 89.4 | 61.5 | 61.0(-) | 60.6 | 59.6(-) | 58.8 | 58.5 | 58.2 | 57.7 | 61.1(-) | 61.1 |
| 2500 | 82.9 | 55.0 | 54.5(-) | 54.1 | 53.1(-) | 52.3 | 52.0 | 51.7 | 51.2 | 54.6(-) | 54.6 |
| 3150 | 79.2 | 51.3 | 50.7(-) | 50.3 | 49.3(-) | 48.5 | 48.3 | 48.0 | 47.5 | 50.8(-) | 50.9 |
| 4000 | 75.6 | 47.7 | 47.2(-) | 46.8 | 45.8(-) | 45.0 | 44.7 | 44.5 | 43.9 | 47.3(-) | 47.4 |
| 5000 | 78.3 | 50.4 | 49.9(-) | 49.5 | 48.5(-) | 47.7 | 47.4 | 47.1 | 46.6 | 50.0(-) | 50.0 |
| 6300 | 79.6 | 51.7 | 51.2(-) | 50.7 | 49.7(-) | 48.9 | 48.7 | 48.4 | 47.9 | 51.3(-) | 51.3 |
| 8000 | 81.8 | 53.9 | 53.4(-) | 53.0 | 52.0(-) | 51.2 | 50.9 | 50.6 | 50.1 | 53.5(-) | 53.5 |
| 10000 | 75.4 | 47.5 | 47.0(-) | 46.6 | 45.6(-) | 44.8 | 44.5 | 44.3 | 43.7 | 47.1(-) | 47.2 |

Tabla C.9: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 9

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Id10} (F'', F''') | Lw_{Ir10} (F'', F''') |
|------------|-------|---|------------|---|-------------|--|--------------|--|---------------|----------------------------|----------------------------|
| | | $d = 7,47 \text{ m}$ $\cos \theta = -0,19$ | Ll_{f10} | $d = 7,63 \text{ m}$ $\cos \theta = -0,18$ | Ll_{f10}' | $d = 7,50^* \text{ m}$ $\cos \theta = 0,21^*$ | Ll_{f10}'' | $d = 7,66^* \text{ m}$ $\cos \theta = 0,20^*$ | Ll_{f10}''' | | |
| (Hz) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 63.4 | 56.2(-) | 63.2 | 55.9(-) | 63.4 | 56.5 | 63.2 | 56.2 | 56.7(-) | 59.4 |
| 160 | 97.6 | 69.2 | 61.9(-) | 69.0 | 61.6(-) | 69.1 | 62.2 | 68.9 | 62.0 | 62.4(-) | 65.1 |
| 200 | 101.0 | 72.5 | 65.2(-) | 72.3 | 65.0(-) | 72.5 | 65.6 | 72.3 | 65.3 | 65.8(-) | 68.5 |
| 250 | 99.2 | 70.7 | 63.5(-) | 70.5 | 63.2(-) | 70.7 | 63.8 | 70.5 | 63.6 | 64.0(-) | 66.7 |
| 315 | 97.9 | 69.5 | 62.2(-) | 69.3 | 61.9(-) | 69.4 | 62.6 | 69.3 | 62.3 | 62.8(-) | 65.4 |
| 400 | 96.3 | 67.9 | 60.6(-) | 67.7 | 60.3(-) | 67.8 | 61.0 | 67.7 | 60.7 | 61.2(-) | 63.9 |
| 500 | 94.4 | 65.9 | 58.6(-) | 65.7 | 58.4(-) | 65.9 | 59.0 | 65.7 | 58.7 | 59.2(-) | 61.9 |
| 630 | 91.3 | 62.8 | 55.6(-) | 62.7 | 55.3(-) | 62.8 | 55.9 | 62.6 | 55.7 | 56.1(-) | 58.8 |
| 800 | 90.4 | 62.0 | 54.7(-) | 61.8 | 54.4(-) | 61.9 | 55.1 | 61.8 | 54.8 | 55.3(-) | 57.9 |
| 1000 | 90.1 | 61.7 | 54.4(-) | 61.5 | 54.1(-) | 61.6 | 54.8 | 61.5 | 54.5 | 55.0(-) | 57.6 |
| 1250 | 88.1 | 59.6 | 52.4(-) | 59.5 | 52.1(-) | 59.6 | 52.7 | 59.4 | 52.5 | 52.9(-) | 55.6 |
| 1600 | 89.5 | 61.0 | 53.7(-) | 60.8 | 53.5(-) | 61.0 | 54.1 | 60.8 | 53.8 | 54.3(-) | 57.0 |
| 2000 | 89.4 | 61.0 | 53.7(-) | 60.8 | 53.4(-) | 60.9 | 54.1 | 60.7 | 53.8 | 54.3(-) | 56.9 |
| 2500 | 82.9 | 54.5 | 47.2(-) | 54.3 | 46.9(-) | 54.4 | 47.6 | 54.3 | 47.3 | 47.8(-) | 50.4 |
| 3150 | 79.2 | 50.7 | 43.4(-) | 50.5 | 43.2(-) | 50.7 | 43.8 | 50.5 | 43.5 | 44.0(-) | 46.7 |
| 4000 | 75.6 | 47.2 | 39.9(-) | 47.0 | 39.6(-) | 47.1 | 40.3 | 47.0 | 40.0 | 40.5(-) | 43.1 |
| 5000 | 78.3 | 49.8 | 42.6(-) | 49.7 | 42.3(-) | 49.8 | 42.9 | 49.6 | 42.7 | 43.1(-) | 45.8 |
| 6300 | 79.6 | 51.1 | 43.9(-) | 50.9 | 43.6(-) | 51.1 | 44.2 | 50.9 | 43.9 | 44.4(-) | 47.1 |
| 8000 | 81.8 | 53.4 | 46.1(-) | 53.2 | 45.8(-) | 53.3 | 46.5 | 53.1 | 46.2 | 46.6(-) | 49.3 |
| 10000 | 75.4 | 47.0 | 39.7(-) | 46.8 | 39.4(-) | 47.0 | 40.1 | 46.8 | 39.8 | 40.3(-) | 43.0 |

Tabla C.10: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 10. Nota: Para el cálculo de W_{Ir10} , la influencia que se considera en las proyecciones es la de la parte exterior del panel absorbente de la derecha de la fuente, así las coordenadas de F'' , y F''' , para este caso son: $(-0,46, -7,62, 1,45)\text{m}$, y $(-0,46, -7,62, -1,45)\text{m}$ respectivamente*

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Id11} (F', F'') | Lw_{Ir11} (F'', F''') |
|------------|-------|---|------------|---|-------------|--|--------------|--|---------------|--------------------------|----------------------------|
| | | $d = 7,40 \text{ m}$ $\cos \theta = -0,19$ | Ll_{f11} | $d = 7,87 \text{ m}$ $\cos \theta = -0,18$ | Ll_{f11}' | $d = 7,43^* \text{ m}$ $\cos \theta = 0,21^*$ | Ll_{f11}'' | $d = 7,90^* \text{ m}$ $\cos \theta = 0,19^*$ | Ll_{f11}''' | | |
| (Hz) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 63.5 | 56.3(-) | 63.0 | 55.5(-) | 63.5 | 56.6 | 62.9 | 55.8 | 56.6(-) | 59.3 |
| 160 | 97.6 | 69.2 | 62.0(-) | 68.7 | 61.2(-) | 69.2 | 62.4 | 68.7 | 61.6 | 62.3(-) | 65.0 |
| 200 | 101.0 | 72.6 | 65.4(-) | 72.1 | 64.6(-) | 72.6 | 65.7 | 72.0 | 64.9 | 65.7(-) | 68.4 |
| 250 | 99.2 | 70.8 | 63.6(-) | 70.3 | 62.8(-) | 70.8 | 63.9 | 70.2 | 63.1 | 63.9(-) | 66.6 |
| 315 | 97.9 | 69.6 | 62.3(-) | 69.0 | 61.5(-) | 69.5 | 62.7 | 69.0 | 61.9 | 62.6(-) | 65.3 |
| 400 | 96.3 | 68.0 | 60.7(-) | 67.4 | 59.9(-) | 67.9 | 61.1 | 67.4 | 60.3 | 61.0(-) | 63.7 |
| 500 | 94.4 | 66.0 | 58.8(-) | 65.5 | 58.0(-) | 66.0 | 59.1 | 65.4 | 58.3 | 59.1(-) | 61.8 |
| 630 | 91.3 | 62.9 | 55.7(-) | 62.4 | 54.9(-) | 62.9 | 56.1 | 62.4 | 55.3 | 56.0(-) | 58.7 |
| 800 | 90.4 | 62.1 | 54.8(-) | 61.5 | 54.0(-) | 62.0 | 55.2 | 61.5 | 54.4 | 55.1(-) | 57.8 |
| 1000 | 90.1 | 61.8 | 54.5(-) | 61.2 | 53.7(-) | 61.7 | 54.9 | 61.2 | 54.1 | 54.8(-) | 57.5 |
| 1250 | 88.1 | 59.7 | 52.5(-) | 59.2 | 51.7(-) | 59.7 | 52.9 | 59.2 | 52.1 | 52.8(-) | 55.5 |
| 1600 | 89.5 | 61.1 | 53.9(-) | 60.6 | 53.1(-) | 61.1 | 54.2 | 60.5 | 53.4 | 54.2(-) | 56.9 |
| 2000 | 89.4 | 61.0 | 53.8(-) | 60.5 | 53.0(-) | 61.0 | 54.2 | 60.5 | 53.4 | 54.1(-) | 56.8 |
| 2500 | 82.9 | 54.5 | 47.3(-) | 54.0 | 46.5(-) | 54.5 | 47.7 | 54.0 | 46.9 | 47.6(-) | 50.3 |
| 3150 | 79.2 | 50.8 | 43.6(-) | 50.2 | 42.7(-) | 50.8 | 43.9 | 50.2 | 43.1 | 43.9(-) | 46.5 |
| 4000 | 75.6 | 47.3 | 40.0(-) | 46.7 | 39.2(-) | 47.2 | 40.4 | 46.7 | 39.6 | 40.3(-) | 43.0 |
| 5000 | 78.3 | 49.9 | 42.7(-) | 49.4 | 41.9(-) | 49.9 | 43.1 | 49.4 | 42.3 | 43.0(-) | 45.7 |
| 6300 | 79.6 | 51.2 | 44.0(-) | 50.7 | 43.2(-) | 51.2 | 44.3 | 50.6 | 43.5 | 44.3(-) | 47.0 |
| 8000 | 81.8 | 53.4 | 46.2(-) | 52.9 | 45.4(-) | 53.4 | 46.6 | 52.9 | 45.8 | 46.5(-) | 49.2 |
| 10000 | 75.4 | 47.1 | 39.8(-) | 46.5 | 39.0(-) | 47.0 | 40.2 | 46.5 | 39.4 | 40.1(-) | 42.8 |

Tabla C.11: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 11. Nota: Para el cálculo de W_{Ir11} , la influencia que se considera en las proyecciones es la de la parte exterior del panel absorbente de la derecha de la fuente, así las coordenadas de F'' , y F''' , para este caso son: $(-0,46, -7,62, 1,45)\text{m}$, y $(-0,46, -7,62, -1,45)\text{m}$ respectivamente*

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia (Hz) | Lw (dB) | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Id12} (F', F'') | Lw_{Ir12} (F'', F''') |
|--------------------|------------|--|--------------------|--|---------------------|---|----------------------|---|-----------------------|--------------------------|----------------------------|
| | | $d = 7,42 \text{ m}$ $\cos\theta = -0,19$ | Ll_{f12} (dB) | $d = 8,19 \text{ m}$ $\cos\theta = -0,17$ | Ll_{f12}' (dB) | $d = 7,45^* \text{ m}$ $\cos\theta = 0,21^*$ | Ll_{f12}'' (dB) | $d = 8,22^* \text{ m}$ $\cos\theta = 0,19^*$ | Ll_{f12}''' (dB) | Ll_{f12}''' (dB) | Ll_{f12}'''' (dB) |
| 125 | 91.9 | 63.5 | 56.2(-) | 62.6 | 55.0(-) | 63.4 | 56.6 | 62.6 | 55.3 | 56.3(-) | 59.0 |
| 160 | 97.6 | 69.2 | 62.0(-) | 68.3 | 60.7(-) | 69.2 | 62.3 | 68.3 | 61.1 | 62.1(-) | 64.7 |
| 200 | 101.0 | 72.6 | 65.3(-) | 71.7 | 64.0(-) | 72.5 | 65.7 | 71.7 | 64.4 | 65.4(-) | 68.1 |
| 250 | 99.2 | 70.8 | 63.5(-) | 69.9 | 62.3(-) | 70.8 | 63.9 | 69.9 | 62.6 | 63.6(-) | 66.3 |
| 315 | 97.9 | 69.5 | 62.3(-) | 68.7 | 61.0(-) | 69.5 | 62.6 | 68.6 | 61.4 | 62.4(-) | 65.1 |
| 400 | 96.3 | 67.9 | 60.7(-) | 67.1 | 59.4(-) | 67.9 | 61.1 | 67.1 | 59.8 | 60.8(-) | 63.5 |
| 500 | 94.4 | 66.0 | 58.7(-) | 65.1 | 57.4(-) | 65.9 | 59.1 | 65.1 | 57.8 | 58.8(-) | 61.5 |
| 630 | 91.3 | 62.9 | 55.7(-) | 62.0 | 54.4(-) | 62.9 | 56.0 | 62.0 | 54.7 | 55.8(-) | 58.4 |
| 800 | 90.4 | 62.0 | 54.8(-) | 61.2 | 53.5(-) | 62.0 | 55.1 | 61.1 | 53.9 | 54.9(-) | 57.6 |
| 1000 | 90.1 | 61.7 | 54.5(-) | 60.9 | 53.2(-) | 61.7 | 54.9 | 60.9 | 53.6 | 54.6(-) | 57.3 |
| 1250 | 88.1 | 59.7 | 52.5(-) | 58.8 | 51.2(-) | 59.7 | 52.8 | 58.8 | 51.5 | 52.6(-) | 55.2 |
| 1600 | 89.5 | 61.1 | 53.8(-) | 60.2 | 52.5(-) | 61.0 | 54.2 | 60.2 | 52.9 | 53.9(-) | 56.6 |
| 2000 | 89.4 | 61.0 | 53.8(-) | 60.2 | 52.5(-) | 61.0 | 54.1 | 60.1 | 52.9 | 53.9(-) | 56.6 |
| 2500 | 82.9 | 54.5 | 47.3(-) | 53.7 | 46.0(-) | 54.5 | 47.6 | 53.6 | 46.4 | 47.4(-) | 50.1 |
| 3150 | 79.2 | 50.8 | 43.5(-) | 49.9 | 42.2(-) | 50.7 | 43.9 | 49.9 | 42.6 | 43.6(-) | 46.3 |
| 4000 | 75.6 | 47.2 | 40.0(-) | 46.4 | 38.7(-) | 47.2 | 40.4 | 46.4 | 39.1 | 40.1(-) | 42.8 |
| 5000 | 78.3 | 49.9 | 42.7(-) | 49.0 | 41.4(-) | 49.9 | 43.0 | 49.0 | 41.8 | 42.8(-) | 45.4 |
| 6300 | 79.6 | 51.2 | 43.9(-) | 50.3 | 42.7(-) | 51.1 | 44.3 | 50.3 | 43.0 | 44.0(-) | 46.7 |
| 8000 | 81.8 | 53.4 | 46.2(-) | 52.6 | 44.9(-) | 53.4 | 46.5 | 52.5 | 45.3 | 46.3(-) | 49.0 |
| 10000 | 75.4 | 47.0 | 39.8(-) | 46.2 | 38.5(-) | 47.0 | 40.2 | 46.2 | 38.9 | 39.9(-) | 42.6 |

Tabla C.12: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 12. Nota: Para el cálculo de W_{Ir12} , la influencia que se considera en las proyecciones es la de la parte exterior del panel absorbente de la derecha de la fuente, así las coordenadas de F'', y F''', para este caso son: (-0.46, -7.62, 1.45)m, y (-0.46, -7.62, -1.45)m respectivamente*

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia (Hz) | Lw (dB) | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Id13} (F', F'') | Lw_{Ir13} (F'', F''') |
|--------------------|------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|--|---|---|--------------------------|----------------------------|
| | | $d = 6,78 \text{ m}$ LI_{f13} | $\cos \theta = -0,21$ LI_{d13} | $d = 6,96 \text{ m}$ LI_{f13}' | $\cos \theta = -0,20$ LI_{d13}' | $d = 6,81^* \text{ m}$ LI_{f13}'' | $\cos \theta = 0,23^*$ LI_{d13}'' | $d = 6,99^* \text{ m}$ LI_{f13}''' | $\cos \theta = 0,22^*$ LI_{d13}''' | | |
| 125 | 91.9 | 64.3 | 57.4(-) | 64.0 | 57.1(-) | 64.2 | 57.8 | 64.0 | 57.4 | 57.9(-) | 60.6 |
| 160 | 97.6 | 70.0 | 63.1(-) | 69.8 | 62.8(-) | 70.0 | 63.5 | 69.7 | 63.2 | 63.7(-) | 66.3 |
| 200 | 101.0 | 73.4 | 66.5(-) | 73.1 | 66.2(-) | 73.3 | 66.9 | 73.1 | 66.5 | 67.0(-) | 69.7 |
| 250 | 99.2 | 71.6 | 64.7(-) | 71.3 | 64.4(-) | 71.5 | 65.1 | 71.3 | 64.7 | 65.2(-) | 67.9 |
| 315 | 97.9 | 70.3 | 63.5(-) | 70.1 | 63.1(-) | 70.3 | 63.8 | 70.1 | 63.5 | 64.0(-) | 66.7 |
| 400 | 96.3 | 68.7 | 61.9(-) | 68.5 | 61.5(-) | 68.7 | 62.2 | 68.5 | 61.9 | 62.4(-) | 65.1 |
| 500 | 94.4 | 66.8 | 59.9(-) | 66.5 | 59.6(-) | 66.7 | 60.3 | 66.5 | 59.9 | 60.4(-) | 63.1 |
| 630 | 91.3 | 63.7 | 56.8(-) | 63.5 | 56.5(-) | 63.6 | 57.2 | 63.4 | 56.9 | 57.4(-) | 60.0 |
| 800 | 90.4 | 62.8 | 56.0(-) | 62.6 | 55.6(-) | 62.8 | 56.3 | 62.6 | 56.0 | 56.5(-) | 59.2 |
| 1000 | 90.1 | 62.5 | 55.7(-) | 62.3 | 55.3(-) | 62.5 | 56.0 | 62.3 | 55.7 | 56.2(-) | 58.9 |
| 1250 | 88.1 | 60.5 | 53.6(-) | 60.3 | 53.3(-) | 60.4 | 54.0 | 60.2 | 53.7 | 54.2(-) | 56.8 |
| 1600 | 89.5 | 61.8 | 55.0(-) | 61.6 | 54.7(-) | 61.8 | 55.3 | 61.6 | 55.0 | 55.5(-) | 58.2 |
| 2000 | 89.4 | 61.8 | 55.0(-) | 61.6 | 54.6(-) | 61.8 | 55.3 | 61.5 | 55.0 | 55.5(-) | 58.2 |
| 2500 | 82.9 | 55.3 | 48.5(-) | 55.1 | 48.1(-) | 55.3 | 48.8 | 55.0 | 48.5 | 49.0(-) | 51.7 |
| 3150 | 79.2 | 51.5 | 44.7(-) | 51.3 | 44.4(-) | 51.5 | 45.0 | 51.3 | 44.7 | 45.2(-) | 47.9 |
| 4000 | 75.6 | 48.0 | 41.2(-) | 47.8 | 40.8(-) | 48.0 | 41.5 | 47.8 | 41.2 | 41.7(-) | 44.4 |
| 5000 | 78.3 | 50.7 | 43.8(-) | 50.5 | 43.5(-) | 50.6 | 44.2 | 50.4 | 43.9 | 44.4(-) | 47.0 |
| 6300 | 79.6 | 52.0 | 45.1(-) | 51.7 | 44.8(-) | 51.9 | 45.5 | 51.7 | 45.1 | 45.6(-) | 48.3 |
| 8000 | 81.8 | 54.2 | 47.3(-) | 54.0 | 47.0(-) | 54.2 | 47.7 | 53.9 | 47.4 | 47.9(-) | 50.6 |
| 10000 | 75.4 | 47.8 | 41.0(-) | 47.6 | 40.6(-) | 47.8 | 41.3 | 47.6 | 41.0 | 41.5(-) | 44.2 |

Tabla C.13: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 13. Nota: Para el cálculo de W_{Ir13} , la influencia que se considera en las proyecciones es la de la parte exterior del panel absorbente de la derecha de la fuente, así las coordenadas de F'', y F''', para este caso son: (-0.46, -7.62, 1.45)m, y (-0.46, -7.62, -1.45)m respectivamente*

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia (Hz) | Lw (dB) | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Id14} (F'', F''') | Lw_{Ir14} (F'', F''') |
|--------------------|------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|--|---|---|----------------------------|----------------------------|
| | | $d = 6,71 \text{ m}$ LI_{f14} | $\cos \theta = -0,21$ LI_{d14} | $d = 7,22 \text{ m}$ LI_{f14}' | $\cos \theta = -0,19$ LI_{d14}' | $d = 6,74^* \text{ m}$ LI_{f14}'' | $\cos \theta = 0,23^*$ LI_{d14}'' | $d = 7,25^* \text{ m}$ LI_{f14}''' | $\cos \theta = 0,21^*$ LI_{d14}''' | | |
| | | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 64.4 | 57.6(-) | 63.7 | 56.6(-) | 64.3 | 57.9 | 63.7 | 57.0 | 57.8(-) | 60.5 |
| 160 | 97.6 | 70.1 | 63.3(-) | 69.4 | 62.3(-) | 70.0 | 63.6 | 69.4 | 62.7 | 63.5(-) | 66.2 |
| 200 | 101.0 | 73.5 | 66.7(-) | 72.8 | 65.7(-) | 73.4 | 67.0 | 72.8 | 66.1 | 66.9(-) | 69.6 |
| 250 | 99.2 | 71.7 | 64.9(-) | 71.0 | 63.9(-) | 71.6 | 65.2 | 71.0 | 64.3 | 65.1(-) | 67.8 |
| 315 | 97.9 | 70.4 | 63.6(-) | 69.8 | 62.6(-) | 70.4 | 64.0 | 69.7 | 63.0 | 63.8(-) | 66.5 |
| 400 | 96.3 | 68.8 | 62.0(-) | 68.2 | 61.0(-) | 68.8 | 62.4 | 68.1 | 61.4 | 62.3(-) | 64.9 |
| 500 | 94.4 | 66.9 | 60.1(-) | 66.2 | 59.1(-) | 66.8 | 60.4 | 66.2 | 59.4 | 60.3(-) | 63.0 |
| 630 | 91.3 | 63.8 | 57.0(-) | 63.1 | 56.0(-) | 63.7 | 57.3 | 63.1 | 56.4 | 57.2(-) | 59.9 |
| 800 | 90.4 | 62.9 | 56.1(-) | 62.3 | 55.1(-) | 62.9 | 56.5 | 62.2 | 55.5 | 56.3(-) | 59.0 |
| 1000 | 90.1 | 62.6 | 55.8(-) | 62.0 | 54.8(-) | 62.6 | 56.2 | 61.9 | 55.2 | 56.1(-) | 58.7 |
| 1250 | 88.1 | 60.6 | 53.8(-) | 59.9 | 52.8(-) | 60.5 | 54.1 | 59.9 | 53.2 | 54.0(-) | 56.7 |
| 1600 | 89.5 | 61.9 | 55.1(-) | 61.3 | 54.2(-) | 61.9 | 55.5 | 61.3 | 54.5 | 55.4(-) | 58.1 |
| 2000 | 89.4 | 61.9 | 55.1(-) | 61.3 | 54.1(-) | 61.9 | 55.5 | 61.2 | 54.5 | 55.3(-) | 58.0 |
| 2500 | 82.9 | 55.4 | 48.6(-) | 54.8 | 47.6(-) | 55.4 | 49.0 | 54.7 | 48.0 | 48.8(-) | 51.5 |
| 3150 | 79.2 | 51.6 | 44.8(-) | 51.0 | 43.9(-) | 51.6 | 45.2 | 51.0 | 44.2 | 45.1(-) | 47.8 |
| 4000 | 75.6 | 48.1 | 41.3(-) | 47.5 | 40.3(-) | 48.1 | 41.7 | 47.4 | 40.7 | 41.6(-) | 44.2 |
| 5000 | 78.3 | 50.8 | 44.0(-) | 50.1 | 43.0(-) | 50.7 | 44.3 | 50.1 | 43.4 | 44.2(-) | 46.9 |
| 6300 | 79.6 | 52.1 | 45.3(-) | 51.4 | 44.3(-) | 52.0 | 45.6 | 51.4 | 44.7 | 45.5(-) | 48.2 |
| 8000 | 81.8 | 54.3 | 47.5(-) | 53.7 | 46.5(-) | 54.3 | 47.8 | 53.6 | 46.9 | 47.7(-) | 50.4 |
| 10000 | 75.4 | 47.9 | 41.1(-) | 47.3 | 40.2(-) | 47.9 | 41.5 | 47.2 | 40.5 | 41.4(-) | 44.0 |

Tabla C.14: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 14. Nota: Para el cálculo de W_{Ir14} , la influencia que se considera en las proyecciones es la de la parte exterior del panel absorbente de la derecha de la fuente, así las coordenadas de F'', y F''', para este caso son: (-0.46, -7.62, 1.45)m, y (-0.46, -7.62, -1.45)m respectivamente*

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | | Lw_{Id15} (F'', F''') |
|------------|-------|--|---------------------|--|----------------------|---|-----------------------|---|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| | | $d = 6,73 \text{ m}$ $\cos\theta = -0,21$ | Ll_{Id15} (dB) | $d = 7,57 \text{ m}$ $\cos\theta = -0,18$ | Ll_{Id15}' (dB) | $d = 6,76^* \text{ m}$ $\cos\theta = 0,23^*$ | Ll_{Id15}'' (dB) | $d = 7,60^* \text{ m}$ $\cos\theta = 0,20^*$ | Ll_{Id15}''' (dB) | Ll_{Id15}'''' (dB) | Lw_{Ir15} (F'', F''') |
| (Hz) | (dB) | | | | | | | | | | |
| 125 | 91.9 | 64.3 | 57.5(-) | 63.3 | 63.3 | 64.3 | 57.9 | 63.3 | 56.4 | 57.5(-) | 60.2 |
| 160 | 97.6 | 70.1 | 63.2(-) | 69.0 | 69.0 | 70.0 | 63.6 | 69.0 | 62.1 | 63.2(-) | 65.9 |
| 200 | 101.0 | 73.4 | 66.6(-) | 72.4 | 72.4 | 73.4 | 67.0 | 72.4 | 65.4 | 66.6(-) | 69.3 |
| 250 | 99.2 | 71.6 | 64.8(-) | 70.6 | 70.6 | 71.6 | 65.2 | 70.6 | 63.7 | 64.8(-) | 67.5 |
| 315 | 97.9 | 70.4 | 63.6(-) | 69.4 | 69.4 | 70.3 | 63.9 | 69.3 | 62.4 | 63.6(-) | 66.2 |
| 400 | 96.3 | 68.8 | 62.0(-) | 67.8 | 67.8 | 68.7 | 62.3 | 67.7 | 60.8 | 62.0(-) | 64.6 |
| 500 | 94.4 | 66.8 | 60.0(-) | 65.8 | 65.8 | 66.8 | 60.4 | 65.8 | 58.8 | 60.0(-) | 62.7 |
| 630 | 91.3 | 63.7 | 56.9(-) | 62.7 | 62.7 | 63.7 | 57.3 | 62.7 | 55.8 | 56.9(-) | 59.6 |
| 800 | 90.4 | 62.9 | 56.1(-) | 61.9 | 61.9 | 62.8 | 56.4 | 61.8 | 54.9 | 56.1(-) | 58.7 |
| 1000 | 90.1 | 62.6 | 55.8(-) | 61.6 | 61.6 | 62.5 | 56.1 | 61.5 | 54.6 | 55.8(-) | 58.4 |
| 1250 | 88.1 | 60.5 | 53.7(-) | 59.5 | 59.5 | 60.5 | 54.1 | 59.5 | 52.6 | 53.7(-) | 56.4 |
| 1600 | 89.5 | 61.9 | 55.1(-) | 60.9 | 60.9 | 61.9 | 55.4 | 60.9 | 53.9 | 55.1(-) | 57.8 |
| 2000 | 89.4 | 61.9 | 55.0(-) | 60.8 | 60.8 | 61.8 | 55.4 | 60.8 | 53.9 | 55.0(-) | 57.7 |
| 2500 | 82.9 | 55.4 | 48.6(-) | 54.4 | 54.4 | 55.3 | 48.9 | 54.3 | 47.4 | 48.6(-) | 51.2 |
| 3150 | 79.2 | 51.6 | 44.8(-) | 50.6 | 50.6 | 51.6 | 45.1 | 50.6 | 43.6 | 44.8(-) | 47.5 |
| 4000 | 75.6 | 48.1 | 41.3(-) | 47.1 | 47.1 | 48.0 | 41.6 | 47.0 | 40.1 | 41.3(-) | 43.9 |
| 5000 | 78.3 | 50.8 | 43.9(-) | 49.7 | 49.7 | 50.7 | 44.3 | 49.7 | 42.8 | 43.9(-) | 46.6 |
| 6300 | 79.6 | 52.0 | 45.2(-) | 51.0 | 51.0 | 52.0 | 45.6 | 51.0 | 44.0 | 45.2(-) | 47.9 |
| 8000 | 81.8 | 54.3 | 47.4(-) | 53.2 | 53.2 | 54.2 | 47.8 | 53.2 | 46.3 | 47.4(-) | 50.1 |
| 10000 | 75.4 | 47.9 | 41.1(-) | 46.9 | 46.9 | 47.9 | 41.4 | 46.8 | 39.9 | 41.1(-) | 43.7 |

Tabla C.15: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 15. Nota: Para el cálculo de W_{Ir15} , la influencia que se considera en las proyecciones es la de la parte exterior del panel absorbente de la derecha de la fuente, así las coordenadas de F'', y F''', para este caso son: (-0.46, -7.62, 1.45)m, y (-0.46, -7.62, -1.45)m respectivamente*

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Id16} (F', F') | Lw_{Ir16} (F'', F''') |
|------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------|
| | | $d = 8,16 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,44$ | $d = 8,30 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,43$ | $d = 8,79 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,40$ | $d = 8,93 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,40$ | | |
| (Hz) | (dB) | LJ_{16} | LJ_{d16} | LJ_{f16}' | LJ_{d16}' | LJ_{f16}'' | LJ_{r16}'' | LJ_{f16}''' | LJ_{r16}''' | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 62.7 | 59.1 | 62.5 | 58.8 | 62.0 | 58.1 | 61.9 | 57.9 | 59.6 | 61.0 |
| 160 | 97.6 | 68.4 | 64.8 | 68.2 | 64.6 | 67.7 | 63.8 | 67.6 | 63.6 | 65.4 | 66.7 |
| 200 | 101.0 | 71.8 | 68.2 | 71.6 | 67.9 | 71.1 | 67.2 | 71.0 | 67.0 | 68.7 | 70.1 |
| 250 | 99.2 | 70.0 | 66.4 | 69.8 | 66.1 | 69.3 | 65.4 | 69.2 | 65.2 | 66.9 | 68.3 |
| 315 | 97.9 | 68.7 | 65.1 | 68.6 | 64.9 | 68.1 | 64.1 | 67.9 | 63.9 | 65.7 | 67.0 |
| 400 | 96.3 | 67.1 | 63.5 | 67.0 | 63.3 | 66.5 | 62.5 | 66.3 | 62.3 | 64.1 | 65.4 |
| 500 | 94.4 | 65.2 | 61.6 | 65.0 | 61.3 | 64.5 | 60.6 | 64.4 | 60.4 | 62.1 | 63.5 |
| 630 | 91.3 | 62.1 | 58.5 | 61.9 | 58.2 | 61.4 | 57.5 | 61.3 | 57.3 | 59.1 | 60.4 |
| 800 | 90.4 | 61.2 | 57.6 | 61.1 | 57.4 | 60.6 | 56.6 | 60.4 | 56.4 | 58.2 | 59.5 |
| 1000 | 90.1 | 60.9 | 57.3 | 60.8 | 57.1 | 60.3 | 56.3 | 60.1 | 56.1 | 57.9 | 59.2 |
| 1250 | 88.1 | 58.9 | 55.3 | 58.7 | 55.0 | 58.2 | 54.3 | 58.1 | 54.1 | 55.9 | 57.2 |
| 1600 | 89.5 | 60.2 | 56.6 | 60.1 | 56.4 | 59.6 | 55.7 | 59.5 | 55.5 | 57.2 | 58.6 |
| 2000 | 89.4 | 60.2 | 56.6 | 60.0 | 56.4 | 59.5 | 55.6 | 59.4 | 55.4 | 57.2 | 58.5 |
| 2500 | 82.9 | 53.7 | 50.1 | 53.5 | 49.9 | 53.0 | 49.1 | 52.9 | 48.9 | 50.7 | 52.0 |
| 3150 | 79.2 | 49.9 | 46.3 | 49.8 | 46.1 | 49.3 | 45.4 | 49.2 | 45.2 | 46.9 | 48.3 |
| 4000 | 75.6 | 46.4 | 42.8 | 46.3 | 42.6 | 45.8 | 41.8 | 45.6 | 41.6 | 43.4 | 44.7 |
| 5000 | 78.3 | 49.1 | 45.5 | 48.9 | 45.3 | 48.4 | 44.5 | 48.3 | 44.3 | 46.1 | 47.4 |
| 6300 | 79.6 | 50.4 | 46.8 | 50.2 | 46.5 | 49.7 | 45.8 | 49.6 | 45.6 | 47.3 | 48.7 |
| 8000 | 81.8 | 52.6 | 49.0 | 52.4 | 48.8 | 51.9 | 48.0 | 51.8 | 47.8 | 49.6 | 50.9 |
| 10000 | 75.4 | 46.2 | 42.6 | 46.1 | 42.4 | 45.6 | 41.6 | 45.4 | 41.4 | 43.2 | 44.6 |

Tabla C.16: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 16

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Id17} (F'', F''') |
|------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| | | $d = 8,09 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,44$ | $d = 8,53 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,42$ | $d = 8,74 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,41$ | $d = 9,14 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,39$ | |
| (Hz) | (dB) | L_{I17} | L_{Id17} | L_{I17}' | L_{Id17}' | L_{I17}'' | L_{Id17}'' | L_{I17}''' | L_{Id17}''' | (dB) |
| 125 | 91.9 | 62.7 | 59.2 | 62.3 | 58.5 | 62.1 | 58.2 | 61.7 | 57.6 | 59.5 |
| 160 | 97.6 | 68.5 | 64.9 | 68.0 | 64.2 | 67.8 | 63.9 | 67.4 | 63.3 | 65.3 |
| 200 | 101.0 | 71.8 | 68.3 | 71.4 | 67.6 | 71.2 | 67.3 | 70.8 | 66.7 | 68.6 |
| 250 | 99.2 | 70.0 | 66.5 | 69.6 | 65.8 | 69.4 | 65.5 | 69.0 | 64.9 | 66.8 |
| 315 | 97.9 | 68.8 | 65.2 | 68.3 | 64.5 | 68.1 | 64.2 | 67.7 | 63.6 | 65.6 |
| 400 | 96.3 | 67.2 | 63.6 | 66.7 | 62.9 | 66.5 | 62.6 | 66.1 | 62.0 | 64.0 |
| 500 | 94.4 | 65.2 | 61.7 | 64.8 | 61.0 | 64.6 | 60.7 | 64.2 | 60.1 | 62.0 |
| 630 | 91.3 | 62.1 | 58.6 | 61.7 | 57.9 | 61.5 | 57.6 | 61.1 | 57.0 | 59.0 |
| 800 | 90.4 | 61.3 | 57.7 | 60.8 | 57.0 | 60.6 | 56.7 | 60.2 | 56.1 | 58.1 |
| 1000 | 90.1 | 61.0 | 57.4 | 60.5 | 56.7 | 60.3 | 56.4 | 59.9 | 55.8 | 57.8 |
| 1250 | 88.1 | 58.9 | 55.4 | 58.5 | 54.7 | 58.3 | 54.4 | 57.9 | 53.8 | 55.8 |
| 1600 | 89.5 | 60.3 | 56.7 | 59.9 | 56.1 | 59.6 | 55.7 | 59.3 | 55.2 | 57.1 |
| 2000 | 89.4 | 60.3 | 56.7 | 59.8 | 56.0 | 59.6 | 55.7 | 59.2 | 55.1 | 57.1 |
| 2500 | 82.9 | 53.8 | 50.2 | 53.3 | 49.5 | 53.1 | 49.2 | 52.7 | 48.6 | 50.6 |
| 3150 | 79.2 | 50.0 | 46.4 | 49.6 | 45.8 | 49.3 | 45.4 | 49.0 | 44.9 | 46.8 |
| 4000 | 75.6 | 46.5 | 42.9 | 46.0 | 42.2 | 45.8 | 41.9 | 45.4 | 41.3 | 43.3 |
| 5000 | 78.3 | 49.2 | 45.6 | 48.7 | 44.9 | 48.5 | 44.6 | 48.1 | 44.0 | 46.0 |
| 6300 | 79.6 | 50.4 | 46.9 | 50.0 | 46.2 | 49.8 | 45.9 | 49.4 | 45.3 | 47.2 |
| 8000 | 81.8 | 52.7 | 49.1 | 52.2 | 48.4 | 52.0 | 48.1 | 51.6 | 47.5 | 49.5 |
| 10000 | 75.4 | 46.3 | 42.7 | 45.8 | 42.0 | 45.6 | 41.7 | 45.2 | 41.1 | 43.1 |
| | | | | | | | | | | 44.5 |

Tabla C.17: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 17

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Idis} (F'', F''') | Lw_{Ir18} (F'', F''') |
|------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | $d = 8,11 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,44$ | $d = 8,82 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,40$ | $d = 8,76 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,41$ | $d = 9,41 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,38$ | | |
| (Hz) | (dB) | LJ_{18} | LJ_{dis} | LJ_{18}' | LJ_{dis}' | LJ_{18}'' | LJ_{dis}'' | LJ_{18}''' | LJ_{dis}''' | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 62.7 | 59.1 | 62.0 | 58.0 | 62.0 | 58.1 | 61.4 | 57.2 | 59.3 | 60.7 |
| 160 | 97.6 | 68.4 | 64.9 | 67.7 | 63.8 | 67.8 | 63.9 | 67.1 | 62.9 | 65.0 | 66.4 |
| 200 | 101.0 | 71.8 | 68.2 | 71.1 | 67.1 | 71.1 | 67.2 | 70.5 | 66.3 | 68.4 | 69.8 |
| 250 | 99.2 | 70.0 | 66.4 | 69.3 | 65.3 | 69.4 | 65.4 | 68.7 | 64.5 | 66.6 | 68.0 |
| 315 | 97.9 | 68.8 | 65.2 | 68.0 | 64.1 | 68.1 | 64.2 | 67.5 | 63.2 | 65.4 | 66.7 |
| 400 | 96.3 | 67.2 | 63.6 | 66.4 | 62.5 | 66.5 | 62.6 | 65.9 | 61.6 | 63.8 | 65.2 |
| 500 | 94.4 | 65.2 | 61.6 | 64.5 | 60.5 | 64.5 | 60.6 | 63.9 | 59.7 | 61.8 | 63.2 |
| 630 | 91.3 | 62.1 | 58.5 | 61.4 | 57.5 | 61.5 | 57.6 | 60.8 | 56.6 | 58.7 | 60.1 |
| 800 | 90.4 | 61.3 | 57.7 | 60.5 | 56.6 | 60.6 | 56.7 | 60.0 | 55.7 | 57.9 | 59.3 |
| 1000 | 90.1 | 61.0 | 57.4 | 60.2 | 56.3 | 60.3 | 56.4 | 59.7 | 55.4 | 57.6 | 59.0 |
| 1250 | 88.1 | 58.9 | 55.3 | 58.2 | 54.3 | 58.3 | 54.4 | 57.6 | 53.4 | 55.5 | 56.9 |
| 1600 | 89.5 | 60.3 | 56.7 | 59.6 | 55.6 | 59.6 | 55.7 | 59.0 | 54.8 | 56.9 | 58.3 |
| 2000 | 89.4 | 60.2 | 56.7 | 59.5 | 55.6 | 59.6 | 55.7 | 59.0 | 54.7 | 56.9 | 58.2 |
| 2500 | 82.9 | 53.7 | 50.2 | 53.0 | 49.1 | 53.1 | 49.2 | 52.5 | 48.2 | 50.4 | 51.7 |
| 3150 | 79.2 | 50.0 | 46.4 | 49.3 | 45.3 | 49.3 | 45.4 | 48.7 | 44.5 | 46.6 | 48.0 |
| 4000 | 75.6 | 46.5 | 42.9 | 45.7 | 41.8 | 45.8 | 41.9 | 45.2 | 40.9 | 43.1 | 44.5 |
| 5000 | 78.3 | 49.1 | 45.6 | 48.4 | 44.5 | 48.5 | 44.6 | 47.8 | 43.6 | 45.7 | 47.1 |
| 6300 | 79.6 | 50.4 | 46.8 | 49.7 | 45.7 | 49.7 | 45.8 | 49.1 | 44.9 | 47.0 | 48.4 |
| 8000 | 81.8 | 52.6 | 49.1 | 51.9 | 48.0 | 52.0 | 48.1 | 51.4 | 47.1 | 49.3 | 50.6 |
| 10000 | 75.4 | 46.3 | 42.7 | 45.5 | 41.6 | 45.6 | 41.7 | 45.0 | 40.8 | 42.9 | 44.3 |

Tabla C.18: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 18

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Id19} (F', F'') | Lw_{Ir19} (F'', F''') |
|------------|-------|--|------------|--|-------------|--|--------------|--|---------------|--------------------------|----------------------------|
| | | $d = 7,53 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,47$ | L_{Id19} | $d = 7,69 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,46$ | L_{Id19}' | $d = 9,44 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,38$ | L_{Id19}'' | $d = 9,57 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,37$ | L_{Id19}''' | | |
| (Hz) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 63.4 | 60.1 | 63.2 | 59.8 | 61.4 | 57.2 | 61.3 | 57.0 | 60.7 | 60.1 |
| 160 | 97.6 | 69.1 | 65.8 | 68.9 | 65.6 | 67.1 | 62.9 | 67.0 | 62.7 | 66.4 | 65.8 |
| 200 | 101.0 | 72.4 | 69.2 | 72.3 | 68.9 | 70.5 | 66.2 | 70.4 | 66.1 | 69.8 | 69.2 |
| 250 | 99.2 | 70.7 | 67.4 | 70.5 | 67.1 | 68.7 | 64.5 | 68.6 | 64.3 | 68.0 | 67.4 |
| 315 | 97.9 | 69.4 | 66.1 | 69.2 | 65.9 | 67.4 | 63.2 | 67.3 | 63.0 | 66.7 | 66.1 |
| 400 | 96.3 | 67.8 | 64.6 | 67.6 | 64.3 | 65.8 | 61.6 | 65.7 | 61.4 | 65.1 | 64.5 |
| 500 | 94.4 | 65.8 | 62.6 | 65.7 | 62.3 | 63.9 | 59.6 | 63.8 | 59.5 | 63.2 | 62.6 |
| 630 | 91.3 | 62.8 | 59.5 | 62.6 | 59.2 | 60.8 | 56.6 | 60.7 | 56.4 | 60.1 | 59.5 |
| 800 | 90.4 | 61.9 | 58.7 | 61.7 | 58.4 | 59.9 | 55.7 | 59.8 | 55.5 | 59.2 | 58.6 |
| 1000 | 90.1 | 61.6 | 58.4 | 61.4 | 58.1 | 59.6 | 55.4 | 59.5 | 55.2 | 58.9 | 58.3 |
| 1250 | 88.1 | 59.6 | 56.3 | 59.4 | 56.0 | 57.6 | 53.4 | 57.5 | 53.2 | 56.9 | 56.3 |
| 1600 | 89.5 | 60.9 | 57.7 | 60.8 | 57.4 | 59.0 | 54.7 | 58.9 | 54.6 | 58.2 | 57.7 |
| 2000 | 89.4 | 60.9 | 57.6 | 60.7 | 57.4 | 58.9 | 54.7 | 58.8 | 54.5 | 58.2 | 57.6 |
| 2500 | 82.9 | 54.4 | 51.1 | 54.2 | 50.9 | 52.4 | 48.2 | 52.3 | 48.0 | 51.7 | 51.1 |
| 3150 | 79.2 | 50.6 | 47.4 | 50.5 | 47.1 | 48.7 | 44.4 | 48.6 | 44.3 | 47.9 | 47.4 |
| 4000 | 75.6 | 47.1 | 43.9 | 46.9 | 43.6 | 45.1 | 40.9 | 45.0 | 40.7 | 44.4 | 43.8 |
| 5000 | 78.3 | 49.8 | 46.5 | 49.6 | 46.3 | 47.8 | 43.6 | 47.7 | 43.4 | 47.1 | 46.5 |
| 6300 | 79.6 | 51.1 | 47.8 | 50.9 | 47.5 | 49.1 | 44.9 | 49.0 | 44.7 | 48.4 | 47.8 |
| 8000 | 81.8 | 53.3 | 50.0 | 53.1 | 49.8 | 51.3 | 47.1 | 51.2 | 46.9 | 50.6 | 50.0 |
| 10000 | 75.4 | 46.9 | 43.7 | 46.7 | 43.4 | 44.9 | 40.7 | 44.8 | 40.5 | 44.2 | 43.6 |

Tabla C.19: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 19

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Id20} (F'', F''') |
|------------|-------|--|------------|--|-------------|--|--------------|--|---------------|----------------------------|
| | | $d = 7,46 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,48$ | Ll_{f20} | $d = 7,93 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,45$ | Ll_{f20}' | $d = 9,39 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,38$ | Ll_{f20}'' | $d = 9,76 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,36$ | Ll_{f20}''' | |
| (Hz) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 63.4 | 60.2 | 62.9 | 59.4 | 61.4 | 57.2 | 61.1 | 56.7 | 60.5 |
| 160 | 97.6 | 69.2 | 65.9 | 68.6 | 65.2 | 67.2 | 63.0 | 66.8 | 62.4 | 66.3 |
| 200 | 101.0 | 72.5 | 69.3 | 72.0 | 68.5 | 70.5 | 66.3 | 70.2 | 65.8 | 69.6 |
| 250 | 99.2 | 70.7 | 67.5 | 70.2 | 66.7 | 68.7 | 64.5 | 68.4 | 64.0 | 67.3 |
| 315 | 97.9 | 69.5 | 66.3 | 69.0 | 65.5 | 67.5 | 63.3 | 67.1 | 62.8 | 66.6 |
| 400 | 96.3 | 67.9 | 64.7 | 67.4 | 63.9 | 65.9 | 61.7 | 65.6 | 61.2 | 64.4 |
| 500 | 94.4 | 65.9 | 62.7 | 65.4 | 61.9 | 63.9 | 59.7 | 63.6 | 59.2 | 63.0 |
| 630 | 91.3 | 62.9 | 59.6 | 62.3 | 58.8 | 60.9 | 56.6 | 60.5 | 56.1 | 60.0 |
| 800 | 90.4 | 62.0 | 58.8 | 61.5 | 58.0 | 60.0 | 55.8 | 59.6 | 55.3 | 59.1 |
| 1000 | 90.1 | 61.7 | 58.5 | 61.2 | 57.7 | 59.7 | 55.5 | 59.4 | 55.0 | 58.8 |
| 1250 | 88.1 | 59.7 | 56.4 | 59.1 | 55.6 | 57.7 | 53.4 | 57.3 | 52.9 | 56.8 |
| 1600 | 89.5 | 61.0 | 57.8 | 60.5 | 57.0 | 59.0 | 54.8 | 58.7 | 54.3 | 58.1 |
| 2000 | 89.4 | 61.0 | 57.8 | 60.4 | 57.0 | 59.0 | 54.8 | 58.6 | 54.3 | 58.1 |
| 2500 | 82.9 | 54.5 | 51.3 | 53.9 | 50.5 | 52.5 | 48.3 | 52.1 | 47.8 | 51.6 |
| 3150 | 79.2 | 50.7 | 47.5 | 50.2 | 46.7 | 48.7 | 44.5 | 48.4 | 44.0 | 47.3 |
| 4000 | 75.6 | 47.2 | 44.0 | 46.7 | 43.2 | 45.2 | 41.0 | 44.9 | 40.5 | 44.3 |
| 5000 | 78.3 | 49.9 | 46.6 | 49.3 | 45.9 | 47.9 | 43.7 | 47.5 | 43.1 | 47.0 |
| 6300 | 79.6 | 51.1 | 47.9 | 50.6 | 47.1 | 49.1 | 44.9 | 48.8 | 44.4 | 48.2 |
| 8000 | 81.8 | 53.4 | 50.2 | 52.8 | 49.4 | 51.4 | 47.2 | 51.0 | 46.7 | 50.5 |
| 10000 | 75.4 | 47.0 | 43.8 | 46.5 | 43.0 | 45.0 | 40.8 | 44.7 | 40.3 | 44.1 |
| | | | | | | | | | | 43.6 |

Tabla C.20: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 20

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | $Lw_{I_{d21}}$ (F', F'') | $Lw_{I_{r21}}$ (F'', F''') |
|------------|-------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|--|---|---|---|--|-----------------------------|-------------------------------|
| | | $d = 7,48 \text{ m}$ $L_{I_{f21}}$ | $\cos \theta = 0,48$ $L_{I_{d21}}$ | $d = 8,25 \text{ m}$ $L_{I_{f21}}'$ | $\cos \theta = 0,43$ $L_{I_{d21}}'$ | $d = 9,41 \text{ m}$ $L_{I_{f21}}''$ | $\cos \theta = 0,38$ $L_{I_{d21}}''$ | $d = 10,02 \text{ m}$ $L_{I_{f21}}'''$ | $\cos \theta = 0,36$ $L_{I_{d21}}'''$ | | |
| (Hz) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | |
| 125 | 91.9 | 63.4 | 60.2 | 62.6 | 58.9 | 61.4 | 57.2 | 60.9 | 56.4 | 60.3 | 59.8 |
| 160 | 97.6 | 69.1 | 65.9 | 68.3 | 64.6 | 67.1 | 62.9 | 66.6 | 62.1 | 66.0 | 65.5 |
| 200 | 101.0 | 72.5 | 69.3 | 71.7 | 68.0 | 70.5 | 66.3 | 70.0 | 65.5 | 69.4 | 68.9 |
| 250 | 99.2 | 70.7 | 67.5 | 69.9 | 66.2 | 68.7 | 64.5 | 68.2 | 63.7 | 67.6 | 67.1 |
| 315 | 97.9 | 69.5 | 66.2 | 68.6 | 65.0 | 67.5 | 63.3 | 66.9 | 62.4 | 66.3 | 65.9 |
| 400 | 96.3 | 67.9 | 64.6 | 67.0 | 63.4 | 65.9 | 61.7 | 65.3 | 60.8 | 64.7 | 64.3 |
| 500 | 94.4 | 65.9 | 62.7 | 65.1 | 61.4 | 63.9 | 59.7 | 63.4 | 58.9 | 62.8 | 62.3 |
| 630 | 91.3 | 62.8 | 59.6 | 62.0 | 58.3 | 60.8 | 56.6 | 60.3 | 55.8 | 59.7 | 59.2 |
| 800 | 90.4 | 62.0 | 58.7 | 61.1 | 57.5 | 60.0 | 55.8 | 59.4 | 54.9 | 58.8 | 58.4 |
| 1000 | 90.1 | 61.7 | 58.4 | 60.8 | 57.2 | 59.7 | 55.5 | 59.1 | 54.6 | 58.5 | 58.1 |
| 1250 | 88.1 | 59.6 | 56.4 | 58.8 | 55.1 | 57.6 | 53.4 | 57.1 | 52.6 | 56.5 | 56.0 |
| 1600 | 89.5 | 61.0 | 57.8 | 60.1 | 56.5 | 59.0 | 54.8 | 58.5 | 54.0 | 57.9 | 57.4 |
| 2000 | 89.4 | 60.9 | 57.7 | 60.1 | 56.5 | 59.0 | 54.7 | 58.4 | 53.9 | 57.8 | 57.4 |
| 2500 | 82.9 | 54.4 | 51.2 | 53.6 | 50.0 | 52.5 | 48.2 | 51.9 | 47.4 | 51.3 | 50.9 |
| 3150 | 79.2 | 50.7 | 47.5 | 49.8 | 46.2 | 48.7 | 44.5 | 48.2 | 43.7 | 47.6 | 47.1 |
| 4000 | 75.6 | 47.2 | 43.9 | 46.3 | 42.7 | 45.2 | 41.0 | 44.6 | 40.1 | 44.0 | 43.6 |
| 5000 | 78.3 | 49.8 | 46.6 | 49.0 | 45.3 | 47.8 | 43.6 | 47.3 | 42.8 | 46.7 | 46.2 |
| 6300 | 79.6 | 51.1 | 47.9 | 50.3 | 46.6 | 49.1 | 44.9 | 48.6 | 44.1 | 48.0 | 47.5 |
| 8000 | 81.8 | 53.3 | 50.1 | 52.5 | 48.9 | 51.4 | 47.1 | 50.8 | 46.3 | 50.2 | 49.8 |
| 10000 | 75.4 | 47.0 | 43.7 | 46.1 | 42.5 | 45.0 | 40.8 | 44.4 | 39.9 | 43.9 | 43.4 |

Tabla C.21: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 21

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Id22} (F'', F''') |
|------------|-------|--|------------|--|-------------|--|--------------|--|---------------|----------------------------|
| | | $d = 8,01 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,13$ | L_{Id22} | $d = 8,86 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,44$ | L_{Id22}' | $d = 8,65 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,12$ | L_{Id22}'' | $d = 9,45 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,42$ | L_{Id22}''' | |
| (Hz) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 62.8 | 53.9 | 61.9 | 58.4 | 62.1 | 52.9 | 61.4 | 57.6 | 58.9 |
| 160 | 97.6 | 68.6 | 59.6 | 67.7 | 64.1 | 67.9 | 58.6 | 67.1 | 63.3 | 64.6 |
| 200 | 101.0 | 71.9 | 63.0 | 71.0 | 67.5 | 71.2 | 62.0 | 70.5 | 66.7 | 67.9 |
| 250 | 99.2 | 70.1 | 61.2 | 69.2 | 65.7 | 69.5 | 60.2 | 68.7 | 64.9 | 66.2 |
| 315 | 97.9 | 68.9 | 60.0 | 68.0 | 64.5 | 68.2 | 58.9 | 67.4 | 63.6 | 64.9 |
| 400 | 96.3 | 67.3 | 58.4 | 66.4 | 62.9 | 66.6 | 57.4 | 65.8 | 62.0 | 63.3 |
| 500 | 94.4 | 65.3 | 56.4 | 64.4 | 60.9 | 64.6 | 55.4 | 63.9 | 60.1 | 61.3 |
| 630 | 91.3 | 62.2 | 53.3 | 61.4 | 57.8 | 61.6 | 52.3 | 60.8 | 57.0 | 58.3 |
| 800 | 90.4 | 61.4 | 52.5 | 60.5 | 57.0 | 60.7 | 51.5 | 59.9 | 56.1 | 57.4 |
| 1000 | 90.1 | 61.1 | 52.2 | 60.2 | 56.7 | 60.4 | 51.2 | 59.6 | 55.8 | 57.1 |
| 1250 | 88.1 | 59.0 | 50.1 | 58.2 | 54.6 | 58.4 | 49.1 | 57.6 | 53.8 | 55.1 |
| 1600 | 89.5 | 60.4 | 51.5 | 59.5 | 56.0 | 59.7 | 50.5 | 59.0 | 55.2 | 56.4 |
| 2000 | 89.4 | 60.4 | 51.5 | 59.5 | 56.0 | 59.7 | 50.4 | 58.9 | 55.1 | 56.4 |
| 2500 | 82.9 | 53.9 | 45.0 | 53.0 | 49.5 | 53.2 | 43.9 | 52.4 | 48.6 | 49.9 |
| 3150 | 79.2 | 50.1 | 41.2 | 49.2 | 45.7 | 49.4 | 40.2 | 48.7 | 44.9 | 46.1 |
| 4000 | 75.6 | 46.6 | 37.7 | 45.7 | 42.2 | 45.9 | 36.7 | 45.1 | 41.3 | 42.6 |
| 5000 | 78.3 | 49.2 | 40.3 | 48.4 | 44.8 | 48.6 | 39.3 | 47.8 | 44.0 | 45.3 |
| 6300 | 79.6 | 50.5 | 41.6 | 49.6 | 46.1 | 49.8 | 40.6 | 49.1 | 45.3 | 46.5 |
| 8000 | 81.8 | 52.8 | 43.9 | 51.9 | 48.4 | 52.1 | 42.8 | 51.3 | 47.5 | 48.8 |
| 10000 | 75.4 | 46.4 | 37.5 | 45.5 | 42.0 | 45.7 | 36.5 | 44.9 | 41.1 | 42.4 |

Tabla C.22: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 22

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Id23} (F'', F''') |
|------------|-------|--|------------|--|-------------|--|--------------|--|---------------|----------------------------|
| | | $d = 7,75 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,13$ | L_{Id23} | $d = 8,62 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,46$ | L_{Id23}' | $d = 8,41 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,12$ | L_{Id23}'' | $d = 9,23 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,43$ | L_{Id23}''' | |
| (Hz) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 63.1 | 54.4 | 62.2 | 58.8 | 62.4 | 53.3 | 61.6 | 57.9 | 59.2 |
| 160 | 97.6 | 68.8 | 60.1 | 67.9 | 64.5 | 68.1 | 59.0 | 67.3 | 63.6 | 64.9 |
| 200 | 101.0 | 72.2 | 63.4 | 71.3 | 67.9 | 71.5 | 62.4 | 70.7 | 67.0 | 68.3 |
| 250 | 99.2 | 70.4 | 61.7 | 69.5 | 66.1 | 69.7 | 60.6 | 68.9 | 65.2 | 66.5 |
| 315 | 97.9 | 69.2 | 60.4 | 68.2 | 64.8 | 68.4 | 59.3 | 67.6 | 63.9 | 65.2 |
| 400 | 96.3 | 67.6 | 58.8 | 66.6 | 63.2 | 66.8 | 57.7 | 66.0 | 62.3 | 63.6 |
| 500 | 94.4 | 65.6 | 56.8 | 64.7 | 61.3 | 64.9 | 55.8 | 64.1 | 60.4 | 61.7 |
| 630 | 91.3 | 62.5 | 53.8 | 61.6 | 58.2 | 61.8 | 52.7 | 61.0 | 57.3 | 58.6 |
| 800 | 90.4 | 61.7 | 52.9 | 60.7 | 57.3 | 60.9 | 51.8 | 60.1 | 56.4 | 57.7 |
| 1000 | 90.1 | 61.4 | 52.6 | 60.4 | 57.0 | 60.6 | 51.5 | 59.8 | 56.1 | 57.4 |
| 1250 | 88.1 | 59.3 | 50.6 | 58.4 | 55.0 | 58.6 | 49.5 | 57.8 | 54.1 | 55.4 |
| 1600 | 89.5 | 60.7 | 51.9 | 59.8 | 56.3 | 60.0 | 50.9 | 59.2 | 55.5 | 56.8 |
| 2000 | 89.4 | 60.6 | 51.9 | 59.7 | 56.3 | 59.9 | 50.8 | 59.1 | 55.4 | 56.7 |
| 2500 | 82.9 | 54.2 | 45.4 | 53.2 | 49.8 | 53.4 | 44.3 | 52.6 | 48.9 | 50.2 |
| 3150 | 79.2 | 50.4 | 41.6 | 49.5 | 46.0 | 49.7 | 40.5 | 48.9 | 45.2 | 46.4 |
| 4000 | 75.6 | 46.9 | 38.1 | 45.9 | 42.5 | 46.1 | 37.0 | 45.3 | 41.6 | 42.9 |
| 5000 | 78.3 | 49.5 | 40.8 | 48.6 | 45.2 | 48.8 | 39.7 | 48.0 | 44.3 | 45.6 |
| 6300 | 79.6 | 50.8 | 42.0 | 49.9 | 46.5 | 50.1 | 41.0 | 49.3 | 45.6 | 46.9 |
| 8000 | 81.8 | 53.0 | 44.3 | 52.1 | 48.7 | 52.3 | 43.2 | 51.5 | 47.8 | 49.1 |
| 10000 | 75.4 | 46.7 | 37.9 | 45.7 | 42.3 | 46.0 | 36.8 | 45.1 | 41.4 | 42.7 |

Tabla C.23: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 23

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Id24} (F'', F''') |
|------------|-------|--|------------|--|-------------|--|--------------|--|---------------|----------------------------|
| | | $d = 7,55 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,14$ | L_{Id24} | $d = 8,45 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,47$ | L_{Id24}' | $d = 8,23 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,13$ | L_{Id24}'' | $d = 9,06 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,43$ | L_{Id24}''' | |
| (Hz) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 63.3 | 54.7 | 62.4 | 59.0 | 62.6 | 53.6 | 61.7 | 58.1 | 57.5 |
| 160 | 97.6 | 69.1 | 60.4 | 68.1 | 64.8 | 68.3 | 59.3 | 67.5 | 63.8 | 63.2 |
| 200 | 101.0 | 72.4 | 63.8 | 71.5 | 68.1 | 71.7 | 62.7 | 70.8 | 67.2 | 66.6 |
| 250 | 99.2 | 70.6 | 62.0 | 69.7 | 66.3 | 69.9 | 60.9 | 69.1 | 65.4 | 64.8 |
| 315 | 97.9 | 69.4 | 60.7 | 68.4 | 65.1 | 68.6 | 59.6 | 67.8 | 64.2 | 63.5 |
| 400 | 96.3 | 67.8 | 59.1 | 66.8 | 63.5 | 67.0 | 58.0 | 66.2 | 62.6 | 61.9 |
| 500 | 94.4 | 65.8 | 57.2 | 64.9 | 61.5 | 65.1 | 56.0 | 64.2 | 60.6 | 60.0 |
| 630 | 91.3 | 62.8 | 54.1 | 61.8 | 58.5 | 62.0 | 53.0 | 61.2 | 57.5 | 56.9 |
| 800 | 90.4 | 61.9 | 53.2 | 60.9 | 57.6 | 61.1 | 52.1 | 60.3 | 56.7 | 56.0 |
| 1000 | 90.1 | 61.6 | 52.9 | 60.6 | 57.3 | 60.8 | 51.8 | 60.0 | 56.4 | 55.7 |
| 1250 | 88.1 | 59.6 | 50.9 | 58.6 | 55.3 | 58.8 | 49.8 | 58.0 | 54.3 | 53.7 |
| 1600 | 89.5 | 60.9 | 52.3 | 59.9 | 56.6 | 60.2 | 51.1 | 59.3 | 55.7 | 55.1 |
| 2000 | 89.4 | 60.9 | 52.2 | 59.9 | 56.6 | 60.1 | 51.1 | 59.3 | 55.7 | 55.0 |
| 2500 | 82.9 | 54.4 | 45.7 | 53.4 | 50.1 | 53.6 | 44.6 | 52.8 | 49.2 | 48.5 |
| 3150 | 79.2 | 50.6 | 42.0 | 49.6 | 46.3 | 49.9 | 40.8 | 49.0 | 45.4 | 44.8 |
| 4000 | 75.6 | 47.1 | 38.4 | 46.1 | 42.8 | 46.3 | 37.3 | 45.5 | 41.9 | 41.2 |
| 5000 | 78.3 | 49.8 | 41.1 | 48.8 | 45.5 | 49.0 | 40.0 | 48.2 | 44.5 | 43.9 |
| 6300 | 79.6 | 51.0 | 42.4 | 50.1 | 46.7 | 50.3 | 41.3 | 49.4 | 45.8 | 45.2 |
| 8000 | 81.8 | 53.3 | 44.6 | 52.3 | 49.0 | 52.5 | 43.5 | 51.7 | 48.1 | 47.4 |
| 10000 | 75.4 | 46.9 | 38.2 | 45.9 | 42.6 | 46.1 | 37.1 | 45.3 | 41.7 | 41.0 |
| | | | | | | | | | | 43.0 |

Tabla C.24: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 24

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Id25} (F'', F''') |
|------------|-------|--|------------|--|-------------|--|--------------|---|---------------|----------------------------|
| | | $d = 7,37 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,14$ | Ll_{f25} | $d = 8,29 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,47$ | Ll_{f25}' | $d = 9,31 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,11$ | Ll_{f25}'' | $d = 10,06 \text{ m}$ $\cos \theta = 0,39$ | Ll_{f25}''' | |
| (Hz) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) | (dB) |
| 125 | 91.9 | 63.5 | 55.0 | 62.5 | 59.3 | 61.5 | 51.9 | 60.8 | 56.8 | 57.8 |
| 160 | 97.6 | 69.3 | 60.7 | 68.3 | 65.0 | 67.2 | 57.7 | 66.6 | 62.5 | 63.5 |
| 200 | 101.0 | 72.6 | 64.1 | 71.6 | 68.4 | 70.6 | 61.0 | 69.9 | 65.9 | 66.8 |
| 250 | 99.2 | 70.9 | 62.3 | 69.8 | 66.6 | 68.8 | 59.3 | 68.1 | 64.1 | 65.1 |
| 315 | 97.9 | 69.6 | 61.0 | 68.6 | 65.3 | 67.6 | 58.0 | 66.9 | 62.8 | 63.8 |
| 400 | 96.3 | 68.0 | 59.5 | 67.0 | 63.7 | 66.0 | 56.4 | 65.3 | 61.2 | 62.2 |
| 500 | 94.4 | 66.0 | 57.5 | 65.0 | 61.8 | 64.0 | 54.4 | 63.3 | 59.3 | 60.2 |
| 630 | 91.3 | 63.0 | 54.4 | 61.9 | 58.7 | 60.9 | 51.4 | 60.3 | 56.2 | 57.2 |
| 800 | 90.4 | 62.1 | 53.6 | 61.1 | 57.8 | 60.1 | 50.5 | 59.4 | 55.3 | 56.3 |
| 1000 | 90.1 | 61.8 | 53.3 | 60.8 | 57.5 | 59.8 | 50.2 | 59.1 | 55.0 | 56.0 |
| 1250 | 88.1 | 59.8 | 51.2 | 58.7 | 55.5 | 57.7 | 48.2 | 57.1 | 53.0 | 54.0 |
| 1600 | 89.5 | 61.1 | 52.6 | 60.1 | 56.9 | 59.1 | 49.5 | 58.4 | 54.3 | 55.3 |
| 2000 | 89.4 | 61.1 | 52.5 | 60.1 | 56.8 | 59.0 | 49.5 | 58.4 | 54.3 | 55.3 |
| 2500 | 82.9 | 54.6 | 46.0 | 53.6 | 50.3 | 52.6 | 43.0 | 51.9 | 47.8 | 48.8 |
| 3150 | 79.2 | 50.8 | 42.3 | 49.8 | 46.6 | 48.8 | 39.2 | 48.1 | 44.0 | 45.0 |
| 4000 | 75.6 | 47.3 | 38.8 | 46.3 | 43.0 | 45.3 | 35.7 | 44.6 | 40.5 | 41.5 |
| 5000 | 78.3 | 50.0 | 41.4 | 48.9 | 45.7 | 47.9 | 38.4 | 47.3 | 43.2 | 44.2 |
| 6300 | 79.6 | 51.2 | 42.7 | 50.2 | 47.0 | 49.2 | 39.6 | 48.5 | 44.5 | 45.4 |
| 8000 | 81.8 | 53.5 | 44.9 | 52.5 | 49.2 | 51.4 | 41.9 | 50.8 | 46.7 | 47.7 |
| 10000 | 75.4 | 47.1 | 38.6 | 46.1 | 42.8 | 45.1 | 35.5 | 44.4 | 40.3 | 41.3 |
| | | | | | | | | | | 41.6 |

Tabla C.25: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 25

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Id26} (F'', F''') |
|------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| | | $d = 7,08 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,15$ | $d = 8,04 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,49$ | $d = 9,09 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,11$ | $d = 9,85 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,40$ | |
| (Hz) | (dB) | $L_{I_{26}}$ | $L_{I_{d26}}$ | $L_{I'_{26}}$ | $L_{I'_{d26}}$ | $L_{I''_{26}}$ | $L_{I''_{d26}}$ | $L_{I'''_{26}}$ | $L_{I'''_{d26}}$ | Lw_{Ir26} (F'', F''') |
| 125 | 91.9 | 63.9 | 55.5 | 62.8 | 59.7 | 61.7 | 52.3 | 61.0 | 57.0 | 58.3 |
| 160 | 97.6 | 69.6 | 61.2 | 68.5 | 65.4 | 67.4 | 58.0 | 66.7 | 62.8 | 64.0 |
| 200 | 101.0 | 73.0 | 64.6 | 71.9 | 68.8 | 70.8 | 61.4 | 70.1 | 66.1 | 67.4 |
| 250 | 99.2 | 71.2 | 62.8 | 70.1 | 67.0 | 69.0 | 59.6 | 68.3 | 64.3 | 65.6 |
| 315 | 97.9 | 69.9 | 61.6 | 68.8 | 65.7 | 67.8 | 58.3 | 67.1 | 63.1 | 64.3 |
| 400 | 96.3 | 68.3 | 60.0 | 67.2 | 64.1 | 66.2 | 56.7 | 65.5 | 61.5 | 62.7 |
| 500 | 94.4 | 66.4 | 58.0 | 65.3 | 62.2 | 64.2 | 54.8 | 63.5 | 59.5 | 60.8 |
| 630 | 91.3 | 63.3 | 54.9 | 62.2 | 59.1 | 61.1 | 51.7 | 60.4 | 56.5 | 57.7 |
| 800 | 90.4 | 62.4 | 54.1 | 61.3 | 58.2 | 60.3 | 50.8 | 59.6 | 55.6 | 56.8 |
| 1000 | 90.1 | 62.1 | 53.8 | 61.0 | 57.9 | 60.0 | 50.5 | 59.3 | 55.3 | 56.5 |
| 1250 | 88.1 | 60.1 | 51.7 | 59.0 | 55.9 | 57.9 | 48.5 | 57.2 | 53.3 | 54.5 |
| 1600 | 89.5 | 61.5 | 53.1 | 60.4 | 57.3 | 59.3 | 49.8 | 58.6 | 54.6 | 55.9 |
| 2000 | 89.4 | 61.4 | 53.1 | 60.3 | 57.2 | 59.3 | 49.8 | 58.6 | 54.6 | 55.8 |
| 2500 | 82.9 | 54.9 | 46.6 | 53.8 | 50.7 | 52.8 | 43.3 | 52.1 | 48.1 | 49.3 |
| 3150 | 79.2 | 51.2 | 42.8 | 50.1 | 47.0 | 49.0 | 39.5 | 48.3 | 44.3 | 45.6 |
| 4000 | 75.6 | 47.6 | 39.3 | 46.5 | 43.4 | 45.5 | 36.0 | 44.8 | 40.8 | 42.0 |
| 5000 | 78.3 | 50.3 | 41.9 | 49.2 | 46.1 | 48.1 | 38.7 | 47.4 | 43.5 | 44.7 |
| 6300 | 79.6 | 51.6 | 43.2 | 50.5 | 47.4 | 49.4 | 40.0 | 48.7 | 44.7 | 46.0 |
| 8000 | 81.8 | 53.8 | 45.4 | 52.7 | 49.6 | 51.7 | 42.2 | 51.0 | 47.0 | 48.2 |
| 10000 | 75.4 | 47.4 | 39.1 | 46.4 | 43.2 | 45.3 | 35.8 | 44.6 | 40.6 | 41.8 |

Tabla C.26: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 26

Anexo C. Valores de W_{Id} y W_{Ir} en los puntos de medida obtenidos por el método de las imágenes.

| Frecuencia | Lw | F | | F' | | F'' | | F''' | | Lw_{Id27} (F'', F''') |
|------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| | | $d = 6,86 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,15$ | $d = 7,84 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,50$ | $d = 8,92 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,12$ | $d = 9,69 \text{ m}$ | $\cos \theta = 0,41$ | |
| (Hz) | (dB) | L_{I27} | L_{Id27} | L_{I27}' | L_{Id27}' | L_{I27}'' | L_{Id27}'' | L_{I27}''' | L_{Id27}''' | (dB) |
| 125 | 91.9 | 64.2 | 55.9 | 63.0 | 60.0 | 61.9 | 52.5 | 61.2 | 57.2 | 58.5 |
| 160 | 97.6 | 69.9 | 61.6 | 68.7 | 65.7 | 67.6 | 58.2 | 66.9 | 63.0 | 64.2 |
| 200 | 101.0 | 73.3 | 65.0 | 72.1 | 69.1 | 71.0 | 61.6 | 70.3 | 66.3 | 67.6 |
| 250 | 99.2 | 71.5 | 63.2 | 70.3 | 67.3 | 69.2 | 59.8 | 68.5 | 64.5 | 65.8 |
| 315 | 97.9 | 70.2 | 62.0 | 69.0 | 66.0 | 67.9 | 58.6 | 67.2 | 63.3 | 64.5 |
| 400 | 96.3 | 68.6 | 60.4 | 67.5 | 64.5 | 66.3 | 57.0 | 65.6 | 61.7 | 63.0 |
| 500 | 94.4 | 66.7 | 58.4 | 65.5 | 62.5 | 64.4 | 55.0 | 63.7 | 59.7 | 61.0 |
| 630 | 91.3 | 63.6 | 55.3 | 62.4 | 59.4 | 61.3 | 51.9 | 60.6 | 56.7 | 57.9 |
| 800 | 90.4 | 62.7 | 54.5 | 61.6 | 58.6 | 60.4 | 51.1 | 59.7 | 55.8 | 57.0 |
| 1000 | 90.1 | 62.4 | 54.2 | 61.3 | 58.3 | 60.1 | 50.8 | 59.4 | 55.5 | 56.8 |
| 1250 | 88.1 | 60.4 | 52.1 | 59.2 | 56.2 | 58.1 | 48.7 | 57.4 | 53.5 | 54.7 |
| 1600 | 89.5 | 61.7 | 53.5 | 60.6 | 57.6 | 59.5 | 50.1 | 58.7 | 54.8 | 56.1 |
| 2000 | 89.4 | 61.7 | 53.5 | 60.5 | 57.5 | 59.4 | 50.0 | 58.7 | 54.8 | 56.0 |
| 2500 | 82.9 | 55.2 | 47.0 | 54.0 | 51.0 | 52.9 | 43.5 | 52.2 | 48.3 | 49.5 |
| 3150 | 79.2 | 51.4 | 43.2 | 50.3 | 47.3 | 49.2 | 39.8 | 48.4 | 44.5 | 45.8 |
| 4000 | 75.6 | 47.9 | 39.7 | 46.8 | 43.8 | 45.6 | 36.3 | 44.9 | 41.0 | 42.3 |
| 5000 | 78.3 | 50.6 | 42.3 | 49.4 | 46.4 | 48.3 | 38.9 | 47.6 | 43.7 | 44.9 |
| 6300 | 79.6 | 51.9 | 43.6 | 50.7 | 47.7 | 49.6 | 40.2 | 48.9 | 44.9 | 46.2 |
| 8000 | 81.8 | 54.1 | 45.9 | 52.9 | 49.9 | 51.8 | 42.4 | 51.1 | 47.2 | 48.4 |
| 10000 | 75.4 | 47.7 | 39.5 | 46.6 | 43.6 | 45.4 | 36.1 | 44.7 | 40.8 | 42.1 |

Tabla C.27: Datos teóricos obtenidos con el método de las imágenes para el cálculo del nivel de potencia acústica de la fuente bajo ensayo-Punto 27

Bibliografía

- [1] Astrup T. 1997. Measurement of sound power using the acoustic intensity method - a consultant's viewpoint. *Applied Acoustics* 50 (2), pp. 111-123.
- [2] Beranek Leo L., Ver Istvan L. 2005. *Noise and vibration control engineering: Principles and applications*. 2nd edition, John Wiley & Sons.
- [3] Brüel & Kjær. Web page: www.bksv.com
- [4] Burger J. F., Van der Merwe G. J. J., Van Zyl B. G., Joffe L. 1973. Measurement of sound power determination. *Journal of Acoustical Society of America* 57, pp. 682-686.
- [5] Burriss C. 1997. Determining sound power levels of enclosed gear drives using the sound intensity method. AGMA Technical Paper, 97FTM2.
- [6] Carletti E., Pedrielli F. 2006. Measurement uncertainties in the sound power procedures based on sound intensity. *Proceedings of the Thirteenth International Congress on Sound and Vibration*.
- [7] CERN document server. Web page: <http://cdsweb.cern.ch/>.
- [8] Craggs J. L. 1991. Measuring the noise level of loaded electric motors. *Pulp and Paper Industry Technical Conference*, pp. 239-245.
- [9] Craggs J. L. 1993. Specifying and measuring the noise level of electric motors in operation. *IEEE Transactions on Industry Applications* 29 (3), pp. 611-615.
- [10] Crocker M. J. 1986. Sound power determination from sound intensity - To scan or not to scan. *Noise Control Engineering Journal* 27, pp. 66-69.
- [11] Crocker M. J., Yang S. 1993. Sound power measurements using sound intensity and sound pressure methods. *Proceedings of Internoise 93*, pp. 377-382.

- [12] Crocker M. J., Arenas J. P. 2003. Fundamentals of the direct measurement of the sound intensity and practical applications. *Acoustical Physics* 49 (2), pp. 199-214.
- [13] Crocker M. J., Arenas J. P., Dyamannavar R. E. 2004. Identification of noise sources on a residential split-system air-conditioner using sound intensity measurements. *Applied Acoustics* 65 (5), pp. 545-558.
- [14] De Bree H-E. 2001. The Microflown - Report 1996-2001. Amsterdam. www.Microflown.com.
- [15] Fahy F. J. 1977. A technique for measuring sound intensity with a sound level meter. *Noise Control Engineering Journal* 9, pp. 155-162.
- [16] Fahy, F. J. 1995. *Sound Intensity*. 2nd edition, E&FN Spon, London.
- [17] Frederiksen E., Schultz O. 1986. Pressure microphones for intensity measurement with significantly improved phase properties. *Brüel & Kjær Technical Review* No. 4-1986, pp. 11-23.
- [18] Frederiksen E. 1987. Acoustic calibrator for intensity measurement systems. *Brüel & Kjær Technical Review* No. 4-1987, pp. 36-42.
- [19] Fuente M., San Juan M., Herráez M., Álvarez V. 1997. Aplicación de la medida de la intensidad activa en la caracterización sonora del elevavolante eléctrico de un coche. *Proceedings of Tecniacustica* 97, pp. 181-184.
- [20] Gade S. 1982. Sound intensity (Part 2). *Brüel & Kjær. Technical Review* No. 4-1982, pp. 3-32.
- [21] Gade S. 1985. Validity of intensity measurements in partially diffuse sound field. *Brüel & Kjær Technical Review* 4, pp. 3-31.
- [22] Gade S., Petersen E. C., Kjaergaard N. 1995. Sound power according to ISO 9614-2. *Proceedings of Euronoise 95*, pp. 951-956.
- [23] González V., Antón M^aA. 2001. Determinación del nivel de potencia acústica a partir de diferentes metodologías de medida y en distintos entornos. *Tecniacustica* 2001.
- [24] Herráez M. 1999. Comentarios sobre la normativa de estimación de potencia sonora mediante el método de intensidad. *Revista de acústica*, vol xxx, n.3-4, pp 27-32.

- [25] Herráez M., Asurmendi J., San Juan M. 1999. Determinación de los niveles de presión de emisión por los métodos de presión e intensidad. *Tecniacustica* 1999.
- [26] Hongisto V., Saine K. 1996. Sound power measurement of a diesel engine by ISO/DIS 9614-2 and ISO 3746 in different acoustical conditions. *Proceedings of Internoise 96*, pp. 2697-2702.
- [27] Hübner G. 1983. Determination of sound power of sources under in-situ conditions using intensity method - field application, suppression of parasitic noise, reflection effect. *Proceedings of Internoise 83*, pp. 1043-1046.
- [28] IEC 60942. 2003. Electroacoustics - Sound calibrators. International Electrotechnical Commission.
- [29] IEC 61043. 1993. Electroacoustics - Instruments for the measurement of sound intensity - Measurements with pairs of pressure sensing microphones. International Electrotechnical Commission.
- [30] ISO 3740. 2000. Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources - Guidelines for the use of basic standards. International Organization for Standardization.
- [31] ISO 3741. 1999. Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - Precision methods for reverberation rooms. International Organization for Standardization.
- [32] ISO 3742. 1988. Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources - Precision methods for discrete-frequency and narrow-band sources in reverberation rooms. International Organization for Standardization.
- [33] ISO 3743-1. 1994. Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources - Engineering methods for small, movable sources in reverberant fields - Part 1: Comparison method for hard-walled test rooms. International Organization for Standardization.
- [34] ISO 3743-2. 1994. Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - Engineering methods for small, movable sources in reverberant fields - Part 2: Methods for special reverberation test rooms. International Organization for Standardization.

- [35] ISO 3744. 1994. Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane. International Organization for Standardization.
- [36] ISO 3745. 2003. Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - Precision methods for anechoic and hemi-anechoic rooms. International Organization for Standardization.
- [37] ISO 3746. 1995. Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane. International Organization for Standardization.
- [38] ISO 3747. 2000. Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - Comparison method in situ. International Organization for Standardization.
- [39] ISO 9614-1. 1993. Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity - Part 1: Measurement at discrete points. International Organization for Standardization.
- [40] ISO 9614-2. 1996. Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity - Part 2: Measurement by scanning. International Organization for Standardization.
- [41] ISO 9614-3. 2002. Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity - Part 3: Precision method for measurement by scanning. International Organization for Standardization.
- [42] Jacobsen F. 1990. Sound field indicators: useful tools. *Noise Control Engineering Journal* 35, pp. 37-46.
- [43] Jacobsen F. 1991. A note on instantaneous and time averaged active and reactive sound intensity. *Journal of Sound and Vibration* 147 (3), pp. 489-496.
- [44] Jacobsen, F. 1991. A simple and effective correction for phase mis-match in intensity probes. *Applied Acoustics* 33, pp. 165-180.
- [45] Jacobsen F. 1992. Sound power determination using the intensity technique in presence of diffuse background noise. *Journal of Sound and Vibration* 159, pp. 353- 371.

- [46] Jacobsen, F. 1993. Sound intensity measurements at low levels. *Journal of Sound and Vibration* 166, pp. 195-207.
- [47] Jacobsen F. 1994. Sound power determination using the intensity technique: State of the art. *Proceedings of the Third International Congress on Recent Developments in Air- and Structure-Borne Sound and Vibration*, pp. 1023-1030.
- [48] Jacobsen F. 1997. An overview of the sources of error in sound power determination using intensity technique. *Applied Acoustics* 50, pp. 155-166.
- [49] Jacobsen F., Cutanda V., Juhl P.M. 1998. A numerical and experimental investigation of the performance of sound intensity probes at high frequencies. *Journal of the Acoustical Society of America* 103 (2), pp. 953-961.
- [50] Jacobsen F., De Bree H. E. 2005. A comparison of two different sound intensity measurement principles. *Journal of the Acoustical Society of America* 118, pp. 1510-1517.
- [51] Jacobsen F., Jaud V. 2006. A note on the calibration of pressure-velocity sound intensity probes. *Journal of Acoustical Society of America* 120, pp. 830-837.
- [52] Jacobsen F. 2006. *Sound intensity and its measurement and applications*. Technical University of Denmark Press.
- [53] Jarvis D. R. 1994. The calibration of sound intensity instruments. *Acustica* 80, pp. 103-114.
- [54] Jonasson H. G. 1993. Determination of Sound Power Levels of Air Terminal Units Using Sound Intensity. Nordtest Project 1024-91. SP Report 1993:39.
- [55] Jessen, B.B. 1985. In-situ evaluation of sound intensity measurements. *Proceedings of Internoise 85*, pp. 1155-1158.
- [56] Jonasson H. G. 1993. Survey method for determining sound power levels under reverberant conditions in situ: A pilot study. Nordtest Project 1064-92. SP Report 1993:53.
- [57] Jonasson H. G. 1993. Measurement of Sound Pressure Levels with Intensity Technique. *Proceedings of Internoise 93*, pp. 363-366.
- [58] Jonasson H. G. 1999. Determination of emission sound pressure level and sound power level in situ. Project SMT-CT 96- 2051. SP Report 1999: Acoustics.

- [59] Kannon T. 1994. Sound power determination by intensity measurements for air-conditioning equipment. Proceedings of Internoise 94, pp. 1797-1800.
- [60] Kendig R. P., Wright S. E. 1991. Validation of acoustic intensity measurements for power transformers. IEEE Transactions on Power Delivery 6 (4), pp. 1524-1530.
- [61] Kinsler L. E., Frey A. R., Coppens A.B., Sanders J.V. 2000. Fundamentals of Acoustics. 4th edition, John Wiley & Sons, USA.
- [62] Krishnappa G. 1994. Examination of scanning sound intensity technique for sound power determination of practical noise source. Proceedings of Internoise 94, pp. 1781-1786.
- [63] Lai J. C. S. 1991. Application of the sound intensity technique to noise source identification - A case study. Applied Acoustics 34, pp. 89-100.
- [64] Lang M. A. 1989. Sound intensity/power as a noise control diagnostic tool. Proceedings of Internoise 89, pp. 973-978.
- [65] Lladó París J., Sánchez Tabuenca B. 2000. Comparison of the noise level of a washing machine measured by two methods: ISO 3744 and ISO 9614. Proceedings of the Seventh International Congress on Sound and Vibration, pp. 2511-2518.
- [66] Machimbarrena Gutiérrez M. 1991. Estudio comparativo del aislamiento sonoro por los métodos de presión y de intensidad. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid.
- [67] Mann J. A. III, Tichy J. 1991. Near-field identification of vibration sources, resonant cavities, and diffraction using acoustic intensity measurements. The Journal of the Acoustical Society of America 90 (2), pp. 720-729.
- [68] Morse P. M. 1948. Vibration and Sound. 2nd edition. McGraw - Hill. New York.
- [69] Neise W., Holste F., Miranda L., Herrmann M. 1995. Free-field sound power levels of open-inlet/open-outlet fans and comparison with in-duct measurements. Noise control engineering journal 43 (4), pp. 129-143.
- [70] Neise W., Arnold F. 2001. On sound power determination in flow ducts. Journal of Sound and Vibration 244 (3), pp. 481-503.
- [71] Olsen H., Pettersen O.K.Ø., Vigran T.E., Newman M.J. 1990. Sound intensity field mapping using scanning technique. Proceedings of Internoise 90, pp. 87-90.

- [72] Olsen H., Pettersen O.K.Ø., Vigran T.E. 1992. Measuring strategies using the scanning intensity technique. Proceedings of the 1992 Nordic Acoustic Meeting, pp. 22-24.
- [73] Pandya G. H. 2001. Application of sound intensity to industrial problems: A case study of in situ sound power determination in a petrochemical industry. Indian Journal of Environmental Protection 21 (8), pp. 703-706.
- [74] Pavic P. 1977. Measurement of sound intensity. Journal of Sound and Vibration 51 (4), pp. 533-545.
- [75] Payne R. C., Simmons D. J. 1996. Measurement uncertainties in the determination of the sound power level and emission sound pressure level of machines. CIRA(EXT) 007. National Physical Laboratory.
- [76] Payne R. C., Simmons D. J. 1996. An investigation into the measurement of the environmental correction factor used in the determination of the sound power level and emission sound pressure level of machines. CIRA(EXT) 009. National Physical Laboratory.
- [77] Payne R. C., Simmons D. J. 1998. The establishment of a rapid method of making sound power measurements of machinery noise emission. NPL Report CMAM 19. National Physical Laboratory.
- [78] Payne R. C., Simmons D. J. 1999. The effect of enveloping surface shape and size on the determination of sound power. NPL Report CMAM 30. National Physical Laboratory.
- [79] Payne R. C., Simmons D. J. 2000. Assessment of reproducibility uncertainties for use in international standards on the determination of sound power. NPL Report CMAM 51. National Physical Laboratory.
- [80] Payne R. C., Simmons D. J. 2001. Assessment of sound power levels and associated measurement uncertainties of construction equipment . NPL Report CMAM 65. National Physical Laboratory.
- [81] Payne R. C., Simmons D. J., Jobling B. 2004. Measurement uncertainties associated with sound power level determination due to source operating conditions. NPL Report DQL-AC 006. National Physical Laboratory.
- [82] Payne R. C., Simmons D. J., Jobling B. 2004. Acoustic parameters and uncertainties associated with determining sound power level in hemi-anechoic rooms. NPL Report DQL-AC 007. National Physical Laboratory.

- [83] Pettersen O. K. Ø., Newman M. J. 1986. The determination of radiated sound power using sound intensity measurements. ELAB (Elektronikkloboratoriet ved NTH, N-7034) Report No. STF44 A86166.
- [84] Pettersen O. K. Ø., Olsen H. 1997. On spatial sampling using the scanning intensity technique. *Applied Acoustics* 50 (2), pp. 141-153.
- [85] Pierce A. D. 1981. *Acoustics: An introduction to its physical principles and applications*. McGraw - Hill. New York.
- [86] Pope J. 1989. Qualifying intensity measurements for sound power determination. *Proceedings of Internoise 89*, pp. 1041-1046.
- [87] Prascevic M. 2002. Acoustics emission valorisation of tyres by sound intensity method. *Facta Universitatis* 2 (2), pp. 115-122.
- [88] Raichel D. R. 2006. *The Science and Applications of Acoustics*. 2nd edition, Springer.
- [89] Reinhart T. E., Crocker M. J. 1992. Source identification of a diesel engine using acoustic intensity measurements. *Noise Control Engineering* 18, pp. 84-92.
- [90] Reiplinger E., Fanton J. P., Adobes A., Darwin A. W., Van Leemput P., Claeys F., Huttner H., Paulick J. G., Verhoeven A. J. M., Reijnders H. F. 1992. Transformer noise: determination of sound power level using the sound intensity measurement method, Working Group 12.12. *Électra* 144, pp. 79-95.
- [91] Shirahatti U. S., Crocker M. J. 1994. Studies of the sound power estimation of a noise source using two-microphone sound intensity technique. *Acustica* 80, pp. 378-387.
- [92] Tachibana H., Yano H., Yamaguchi K. 1993. The accuracy of scanning sound intensity method in sound power level determination. *Proceedings of Inter-Noise 93*, pp. 357-362.
- [93] Van Zyl B. G., Anderson F. 1975. Evaluation of the intensity method of sound power determination. *Journal of Acoustical Society of America* 57, pp. 682-686.
- [94] Ward T. 1994. Measuring the sound power of woodworking machines using sound intensity techniques. *Proceedings of the Institute of Acoustics* 16 (2), pp. 553-562.
- [95] Williams R. G. D., Yang S. J. 1993. Advanced techniques for noise source identification on a large generator unit. *IEEE Transactions on Energy Conversion* 8 (1), pp. 114-122.